



**DemSSO**

PROGRAMA DOUTORAL EM SEGURANÇA  
E SAÚDE OCUPACIONAIS

# Exposição Ocupacional ao Radão em Estabelecimentos Termais

Ana Sofia Gonçalves Ribeiro Moreira da Silva

**Orientador:**

**Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Co-orientadores:**

**Professor Doutor Alcides José Castilho Pereira**

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**Professor Doutor Carlos Silva Santos**

Escola Nacional de Saúde Pública

Porto, 2015



---

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

**VoIP/SIP:** feup@fe.up.pt

**ISN:** 3599\*654



**Telefone:** +351 22 508 14 00



**Fax:** +351 22 508 14 40



**URL:** <http://www.fe.up.pt>



**Correio Electrónico:** [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



*Uma prova de resistência  
e de Amor... Ana João*



## AGRADECIMENTOS

A tese de doutoramento é um grande desafio pessoal envolvendo uma dedicação permanente. No entanto, a realização deste trabalho só foi possível com ajuda, empenho e interação de muitas pessoas. Como é impossível mencioná-las todas, gostaria de deixar aqui uma palavra de gratidão a alguns dos quais me sinto especialmente grata. Para todas as outras pessoas, os meus sinceros agradecimentos.

Eu devo uma profunda gratidão à minha orientadora, Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis, pela forma como me aconselhou, através da sua experiência, emitindo opiniões preciosas para os resultados obtidos, pela disponibilidade e interesse que sempre demonstrou, assim como, atitude encorajadora, amizade e dedicação sem fim. Sem a sua orientação e apoio sistemático teria sido impossível continuar com este projeto de pesquisa. Foi uma honra e um privilégio em conhecer, trabalhar e aprender com ela. Obrigada também aos meus co-orientadores, Professor Doutor Alcides José Sousa Castilho Pereira e Professor Doutor Carlos Silva Santos, por me terem permitido trabalhar com eles e por me ajudarem a caminhar na direção correta, com contributos fundamentais e decisivos para a realização deste estudo.

Também não poderia deixar de agradecer aos Professores Feliciano Rodrigues e Professor Joaquim Eduardo Sousa Góis do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela ajuda e assistência em diferentes fases deste trabalho, no âmbito da geologia e do tratamento de dados estatísticos, respetivamente.

Um agradecimento especial a todos os responsáveis dos estabelecimentos termais: Termas do Luso, Caldas das Taipas, Termas de S. Pedro do Sul, Caldas da Felgueira, Caldas de S. Lourenço, Termas de Alcafache, Termas de Caldelas, Termas de Moimenta, Termas de Entre-os-Rios, Termas de Manteigas, Termas do Cró, Termas de Monção, Termas de Unhais da Serra, Termas de Sangemil, Termas de Longroiva, Caldas da Saúde e Caldas da Rainha, sem a vossa autorização era impossível realizar este estudo. Além disso, estou também muito grata a todos os trabalhadores dos estabelecimentos termais que de uma forma voluntária contribuíram para o desenvolvimento do estudo.

O meu agradecimento ao Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pela disponibilização de material e pelo tratamento dos dados recolhidos, ao Laboratório de Radioatividade Ambiental do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela disponibilização de equipamento e à Direção-Geral da Saúde, nomeadamente ao Departamento de Saúde Ocupacional, pela elaboração de um ofício circular que foi facilitador na adesão dos estabelecimentos termais ao projeto de investigação.

Por último, mas não menos importante, a toda a minha família pelo amor e força que invade todos os meus dias.

A todos os que referi, o meu *Muito Obrigada*.



## LISTA DE PUBLICAÇÕES

### Artigos em revistas científicas incluídas na "Scientific Citation Index"

1. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, A.J.S.C. Pereira (2015). "Measurements of indoor radon and total gamma dose rate in Portuguese Thermal spas". Occupational Safety and Hygiene III 2015 – submetido a 16/10/2015.
2. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2015). "The presence of radon in thermal spas and their occupational implications – a review", Book chapter in: Occupational Safety and Hygiene III, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.353-355, ISBN 978-1-138-02765-7, London: Taylor & Francis.
3. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, A. Fiúza (2014). "Research on Occupational Exposure to Radon in Portuguese Thermal Spas", Book chapter in: Occupational Safety and Hygiene II, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp. 273 -277. ISBN: 978-1-138-00144-2, London: Taylor & Francis.
4. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, M.T. Diogo (2013). "Occupational Exposure to Radon in Thermal Spas", Book chapter in: Occupational Safety and Hygiene, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.273-277. ISBN: 9781138000476, London: Taylor & Francis, 2013.

### Publicações em encontros científicos

1. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, A.J.S.C. Pereira, A. Fiúza (2015). "Radon Levels in Portuguese Thermal Spas", Proceedings of the: "Third International Conference on Radiation and Application in Various Fields of Research, RAD2015", Budva, Montenegro, June 08-12, 2015.
2. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2015). "Radon survey in Portuguese thermal spas", Proceedings of the "1st Doctoral Congress in Engineering", Porto, Portugal, June 11-12, 2015.
3. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2015). "Avaliação da Concentração de Radão no Ar Interior de Spas Termas Portugueses", Book of Abstracts: "Seminário Investigação para a Prevenção", Viseu, Portugal, April 28, 2015.
4. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2015). "Avaliação da Concentração de Radão na Água Mineral Natural de Spas Termas Portugueses", Proceeding of the: Occupational Safety and Hygiene 2015, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.59-65, ISBN 978-1-138-02765-7, London: Taylor & Francis.
5. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2014). "Occupational exposure to radon and risk of lung cancer", Proceedings book: "International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, pp.398-387, 13-14 February 2014, Guimarães, Portugal.

6. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, M.T. Diogo (2013). “Occupational Exposition to Radon in Thermal Spas, Proceedings book: "International Symposium on Occupational Safety and Hygiene-SHO2013, pp.357-358, 14-13 February 2013, Guimarães, Portugal.
7. **A.S. Silva**, M.L. Dinis, M.T. Diogo (2012). “Exposição Ocupacional ao Radão em Spas Termais: um Problema de Saúde Pública”, published in: Revista Segurança – Novembro/Dezembro 2012, pp.28-31.

### **Publicações com resumo**

1. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2015). “Exposição Ocupacional ao Radão em Spas Termais Portugueses”, Book of Abstracts: 3º Congresso Internacional sobre Condições de Trabalho, Porto, September 11-13, 2015.
2. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2014). “Radon levels in Portuguese thermal spas”, Book of Abstracts: Third International Conference on Radiation and Application in Various Fields of Research, RAD2015, June 2015, Serbia.
3. **A.S. Silva**, J.F. Rodrigues, M.L. Dinis (2013). “Occupational exposure to radon in spas waters from different geological formations”, Book of Abstracts: 1º International workshop: uranium, environment and public health, Instituto Politécnico de Castelo Branco, October 25, 2013.

### **Posters**

1. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2013). “Occupational Exposure to Radon in Thermal Spas”, Conferência Proteção Radiológica na Saúde, setembro 2013, Lisboa.
2. **A.S. Silva**, J.F. Rodrigues, M.L. Dinis (2013). “Occupational exposure to radon in spas waters from different geological formations”, 1º International workshop: uranium, environment and public health, Instituto Politécnico de Castelo Branco, October 25, 2013.
3. **A.S. Silva**, M.L. Dinis (2014). “Avaliação da concentração de radão na água mineral natural de spas termais portuguesas”, I Jornadas Saúde Ocupacional, **Prémio para o melhor Poster**, Porto, Outubro 2014.



## RESUMO

O radão é reconhecido como sendo a fonte natural de maior exposição humana e a principal causa da incidência de cancro de pulmão, com a exceção do tabaco. Os estabelecimentos termais foram identificados pela União Europeia como uma das atividades profissionais com maior potencial de exposição ao radão em grande parte devido à inalação de radão libertado a partir das águas termais. Vários estudos têm sido realizados em diferentes países, tais como o Brasil, Espanha, Grécia, China, Turquia, Sérvia, Áustria, Croácia, Hungria, Argélia, mas sem qualquer tipo de desenvolvimento em Portugal.

Esta tese compreende um estudo transversal da exposição ao radão em estabelecimentos termais realizado em duas campanhas de recolha de dados envolvendo um total de 17 estabelecimentos termais localizados em Portugal Continental (taxa de participação de 45 %) com um total 309 trabalhadores (taxa de participação de 46 %) e 14 habitações dos trabalhadores seleccionados (taxa de participação de 88 %), tendo sido realizado entre 2013 e 2015.

A metodologia adotada neste estudo transversal foi a mesma para todos os estabelecimentos termais tendo sido realizadas medições para avaliar a taxa de dose de radiação gama, radiação gama total, concentração de radão na água e concentração de radão no ar interior. Na habitação do trabalhador seleccionado de cada estabelecimento termal, as medições efetuadas referem-se à concentração de radão no ar interior e à radiação gama total, coincidindo com a segunda campanha de recolha de dados.

A partir da concentração de radão no ar interior e da taxa de dose de radiação gama, calculou-se a dose efetiva anual a que os trabalhadores estarão expostos a nível ocupacional. Calculou-se também a dose efetiva a nível habitacional.

As características de cada estabelecimento termal foram obtidas através de visitas aos locais e preenchimento do “*Questionário do estabelecimento termal*”, previamente validado. A informação relativa ao trabalhador foi recolhida através do “*Questionário do trabalhador*” e a informação relativa à habitação do trabalhador seleccionado através do “*Questionário da habitação*”.

O tratamento estatístico aplicado às variáveis estudadas: concentração de radão na água, concentração de radão no ar interior e radiação gama total, foi a estatística descritiva. Relativamente aos dados da taxa de dose de radiação gama foram utilizados três testes para a normalidade aplicados aos dados obtidos nesta variável: teste do qui-quadrado, teste do Kolmogorov-Smirnov e o teste Wilcoxon-Mann-Whitney.

Os resultados indicam que os trabalhadores dos estabelecimentos termais seleccionados estão expostos a níveis de radão, no interior dos edifícios do local de trabalho, superiores aos níveis de referência nacionais e segundo a nova Diretiva 2013/59/EURATOM, que deverá ser transposta pelos Estados-Membros até fevereiro de 2018, tal deverá ser considerado como uma “situação de exposição existente”. No entanto, os trabalhadores destes estabelecimentos termais também estão expostos a uma dose efetiva susceptível de exceder os 6 mSv/ano e, neste caso, a situação deve ser gerida como “situação de exposição planeada” a que se aplicam limites de dose. Verificou-se ainda que: i) o nível de referência para a água mineral natural (100 Bq/L) foi ultrapassado em 63 % dos estabelecimentos termais e o nível de ação (1000 Bq/L) foi excedido em 19 %; ii) 94 % dos valores da concentração de radão no ar interior são superiores ao nível de referência recomendado pela UE,

300 Bq/m<sup>3</sup>; iii) 57 % da dose de exposição interna por inalação, estimada para o interior da habitação do trabalhador selecionado, ultrapassou o limite anual de dose efetiva para público de 1 mSv (apesar deste limite de dose não se aplicar à exposição no interior da habitação, o mesmo é mencionado apenas a título comparativo); iv) existência de uma forte correlação positiva entre a concentração de radão no ar interior e a concentração de radão na água.

Em geral, como os níveis de referência para as diversas variáveis em estudo foram ultrapassados, devem ser tomadas medidas de proteção ou medidas corretivas do ponto de vista da proteção contra as radiações ionizantes. Nos casos em que a dose efectiva anual for igual ou inferior a 6 mSv/ano, a exposição deve ser mantida sob observação.

Os resultados obtidos neste estudo, além de serem consistentes com a literatura existente, fornecem informação sobre a situação de exposição às radiações ionizantes nos estabelecimentos termais portugueses, que não pode ser ignorada do ponto de vista de proteção contra as radiações, numa perspectiva de proteção da saúde humana, além da obrigatoriedade de cumprimento com a legislação nacional e regulamentação internacional. Além disso, a informação sobre a exposição ao radão nas habitações dos trabalhadores selecionados deve também ser tida em conta nas medidas de protecção e de correcção, sob o ponto de vista de protecção da saúde pública, dados os valores extremamente elevados observados em algumas das habitações monitorizadas ao longo deste estudo.

**Palavras-chave:** Radão, radiação gama, estabelecimento termal, exposição, dose.

## ABSTRACT

Radon is recognized as the natural source of human exposure and the leading cause of lung cancer incidence, with the exception of tobacco. The thermal establishments were identified by the European Union as one of the professional activities with the greatest potential for exposure to radon in large part due to inhalation of radon released from the hot springs. Several studies have been conducted in different countries, such as Brazil, Spain, Greece, China, Turkey, Serbia, Austria, Croatia, Hungary, Algeria, but without any kind of development in Portugal.

This thesis comprises a cross-sectional study of exposure to radon in thermal establishments, developed in two measurement campaigns, involving a total of 17 thermal establishments located in Continental Portugal (turnout of 37 %), 143 workers (turnout of 48 %) and 14 workers' dwellings selected (turnout of 88 %), having been held between 2013 and 2015.

The methodology adopted in this cross-sectional study was the same for all thermal establishments, where measurements were carried out to evaluate the gamma dose rate, the total gamma radiation, the radon concentration in water and the radon concentration in the indoor air. On worker's dwelling selected from each thermal establishment, measurements were made related to radon concentration in the indoor air and total gamma radiation, coinciding with the second period of data's collection campaign.

The characteristics of each thermal establishment were obtained through visits to the location and by filling the "Questionnaire of the thermal establishment", previously validated. Workers' informations were gathered through the "Questionnaire of the worker" and the workers' dwelling informations through the "Questionnaire of housing".

The statistical treatment applied to variables: concentration of radon in water, radon concentration in the indoor air and total gamma radiation was the descriptive statistics. In what concerns to the gamma dose rate data, three tests for normality were applied for this variable: Chi-square test, Kolmogorov-Smirnov test and the Wilcoxon-Mann-Whitney test.

The results suggest that the workers of the thermal establishments studied are exposed to ionizing radiation and according to Basic Safety Standards and the Directive 2013/59/EURATOM, which should be transposed by Member States by February 2018, there are cases of planned exposure situation, since the effective dose is likely to exceed the 6 mSv/year. It was found that the reference level for natural mineral water (100 Bq/L) was exceeded in 63 % of the thermal establishments and the action level (1000 Bq/L) was exceeded by 19 %; ii) 94 % of the values of radon concentration in the indoor air are higher than the reference level recommended by the EU, 300 Bq/m<sup>3</sup>; iii) 57 % of the estimated internal exposure dose by inhalation within the worker's housing, exceeded the annual dose limit for the general public (although this dose limit does not apply to exposure within the dwellings, it is mentioned only for comparison); iv) existence of a strong positive correlation between the concentration in the indoor air and the radon concentration in the water.

In general, as the recommended limits for the various variables in this study were exceeded, measures must be taken as protection or corrective measures from the point of view of the protection against the ionizing radiation. In cases where the annual effective dose is equal to or less than 6 mSv/year, the exposure should be kept under observation.

Therefore, the results obtained in this study are consistent with the existing literature, providing information about the situation of the exposure to ionizing radiation in thermal establishments, which cannot be ignored from the point of view of the radiation protection, in a perspective of the protection of human health, besides the mandatory compliance with national and international regulations legislation. In addition, the obtained data on radon exposure in the dwellings of the each selected worker should also be taken into account in protective and corrective measures, from the point of view of the protection of the public health, given the very high levels that were registered in some of the dwellings monitored throughout this study.

**Key words:** Radon, Gamma Radiation, Thermal establishments, Exposure, Dose.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Âmbito de aplicação e justificativa .....	1
1.2 Efeitos na saúde humana da exposição ao radão .....	2
2. RELEVÂNCIA, OBJETIVOS E RESUMO DA TESE .....	5
2.1 Relevância e motivação do tema .....	5
2.2 Pergunta de pesquisa e objetivos .....	7
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	11
3.1 Radioatividade natural .....	11
3.2 Parâmetros que afetam a concentração de radão .....	14
3.2.1 Geologia .....	14
3.2.2 Ventilação .....	18
3.3 Exposição ocupacional ao radão .....	20
3.3.1 O radão no interior dos estabelecimentos termais (ar e água) .....	20
3.3.2 Ar interior das habitações .....	22
3.4 Evidências dos efeitos na saúde da exposição às radiações ionizantes .....	23
3.5 Medidas de redução da concentração de radão .....	27
3.6 Águas minerais naturais .....	28
3.6.1 Características e composição das águas minerais .....	30
3.6.2 Enquadramento geológico-estrutural .....	33
3.7 Enquadramento normativo .....	35
3.7.1 Radão no ar interior .....	35
3.7.2 Radão na água .....	35
3.7.3 Limites de dose .....	36
4. PARTICIPANTES E MÉTODOS .....	39
4.1 Implementação do estudo .....	39
4.2 O tamanho da amostra .....	39
4.2.1 Estabelecimentos termais .....	39
4.2.2 Indicações terapêuticas dos estabelecimentos termais .....	50
4.2.3 Principais técnicas termais .....	51
4.2.4 Oferta e procura dos estabelecimentos termais .....	51

4.2.5 Caracterização dos trabalhadores nos estabelecimentos termais .....	52
4.2.6 Trabalhadores.....	53
4.2.7 Habitações .....	53
4.3 Recolha de dados .....	53
4.3.1 Estabelecimentos termais .....	53
4.3.2 Trabalhadores.....	54
4.3.3 Habitações .....	55
4.4 Metodologia.....	56
4.4.1 Concentração de radão na água.....	56
4.4.2 Concentração de radão no ar interior .....	57
4.4.3 Taxa de dose de radiação gama.....	58
4.4.4 Radiação gama total .....	59
4.5 Análise estatística .....	60
4.5.1 Análise da correlação .....	61
5. RESULTADOS.....	63
5.1 ET1 .....	68
5.1.1 Concentração de radão no ar interior .....	69
5.1.2 Concentração de radão na água.....	70
5.1.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	71
5.1.4 Estimativa da dose efetiva.....	75
5.1.5 Resumo.....	76
5.2 ET2 .....	77
5.2.1 Concentração de radão no ar interior .....	77
5.2.2 Concentração de radão na água.....	78
5.2.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	78
5.2.4 Estimativa da dose efetiva.....	81
5.2.5 Resumo.....	82
5.3 ET3 .....	82
5.3.1 Concentração de radão no ar interior .....	83
5.3.2 Concentração de radão na água.....	84
5.3.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	85
5.3.4 Estimativa da dose efetiva.....	92

5.3.5 Resumo .....	93
5.4 ET4 .....	95
5.4.1 Concentração de radão no ar interior .....	95
5.4.2 Concentração de radão na água.....	96
5.4.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	96
5.4.4 Estimativa da dose efetiva.....	101
5.4.5 Resumo .....	102
5.5 ET5 .....	103
5.5.1 Concentração de radão no ar interior .....	103
5.5.2 Concentração de radão na água.....	104
5.5.3 Radiação gama total e taxa de dose da radiação gama.....	104
5.5.4 Estimativa da dose efetiva.....	106
5.5.5 Resumo .....	107
5.6 ET6 .....	107
5.6.1 Concentração de radão no ar interior .....	108
5.6.2 Concentração de radão na água.....	108
5.6.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	109
5.6.4 Estimativa da dose efetiva.....	110
5.6.5 Resumo .....	111
5.7 ET7 .....	111
5.7.1 Concentração de radão no ar interior .....	112
5.7.2 Concentração de radão da água.....	113
5.7.3 Radiação gama total e taxa da dose de radiação gama.....	113
5.7.4 Estimativa da dose efetiva.....	115
5.7.5 Resumo .....	116
5.8 ET8 .....	116
5.8.1 Concentração de radão no ar interior .....	117
5.8.2 Concentração de radão na água.....	118
5.8.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	118
5.8.4 Estimativa da dose efetiva.....	119
5.8.5 Resumo .....	120
5.9 ET9 .....	120

5.9.1 Concentração de radão no ar interior .....	121
5.9.2 Concentração de radão na água.....	122
5.9.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	122
5.9.4 Estimativa da dose efetiva.....	124
5.9.5 Resumo.....	125
5.10 ET10 .....	125
5.10.1 Concentração de radão no ar interior .....	126
5.10.2 Concentração de radão na água.....	127
5.10.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	127
5.10.4 Estimativa da dose efetiva.....	130
5.10.5 Resumo.....	130
5.11 ET11 .....	131
5.11.1 Concentração de radão no ar interior .....	132
5.11.2 Concentração de radão na água.....	133
5.11.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	134
5.11.4 Estimativa da dose efetiva.....	137
5.11.5 Resumo.....	138
5.12 ET12 .....	138
5.12.1 Concentração de radão no ar interior .....	139
5.12.2 Concentração de radão na água.....	140
5.12.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	140
5.12.4 Estimativa da dose efetiva.....	142
5.12.5 Resumo.....	142
5.13 ET13 .....	143
5.13.1 Concentração de radão no ar interior .....	144
5.13.2 Concentração de radão na água.....	144
5.13.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	145
5.13.4 Estimativa de dose efetiva.....	147
5.13.5 Resumo.....	148
5.14 ET14 .....	148
5.14.1 Concentração de radão no ar interior .....	149
5.14.2 Concentração de radão na água.....	150



5.14.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	150
5.14.4 Estimativa da dose efetiva.....	153
5.14.5 Resumo .....	153
5.15 ET15 .....	154
5.15.1 Concentração de radão no ar interior .....	155
5.15.2 Concentração de radão na água.....	155
5.15.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	156
5.15.4 Estimativa da dose efetiva.....	158
5.15.5 Resumo .....	158
5.16 ET16 .....	158
5.16.1 Concentração de radão no ar interior .....	159
5.16.2 Concentração de radão na água.....	160
5.16.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama.....	160
5.16.4 Estimativa da dose efetiva.....	165
5.16.5 Resumo .....	166
5.17 Questionário do estabelecimento termal.....	166
5.18 Questionário do trabalhador .....	173
5.19 Questionário da habitação.....	186
6. DISCUSSÃO .....	191
7. CONCLUSÕES .....	205
7.1 Principais conclusões.....	205
7.2 Medidas de mitigação/recomendações .....	207
7.3 Estudos futuros .....	208
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	211
ANEXOS.....	221
Anexo 1. Informação 90/DSAO (DGS).....	221
Anexo 2. Questionário do trabalhador.....	225
Anexo 3. Questionário da habitação.....	229
Anexo 4. Questionário do estabelecimento termal .....	233
Anexo 4. Tabelas resumo dos resultados obtidos.....	239



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Variação de anos de vida ajustados à incapacidade, da população portuguesa, devido ao cancro da traqueia, brônquios e pulmão – sexo masculino (1990-2010) (DGS, 2014).....	2
Figura 1.2 - Variação de anos de vida ajustados à incapacidade, da população portuguesa, devido ao cancro da traqueia, brônquios e pulmão – sexo feminino (1990-2010) (DGS, 2014).....	3
Figura 2.1 - Estrutura do plano de investigação.....	8
Figura 3.1 - Exposição do público à radiação ionizante (adaptado ITN, 2010).....	12
Figura 3.2 - Série de decaimento do urânio-238, tipo de decaimento ( $\alpha$ ou $\beta$ ) e a respetiva semi-vida (adaptado de Human Health Fact Sheet, 2002).....	13
Figura 3.3 - Radão no ambiente (Schmidt, 2010). ....	15
Figura 3.4 - Concentração de radão nos diferentes pisos (Ziane et al., 2014).....	19
Figura 3.5 - Média das concentrações de radão por estação do ano (Ziane et al., 2014). ....	19
Figura 3.6 - Riscos Relativos (RR) em função da exposição ao radão: (a) em ambiente ocupacional, expressos em WLM – <i>Working Level Month</i> ; (b) em ambiente habitacional expressos em função da concentração de radão em Bq/m <sup>3</sup> , resultantes dos modelos multiplicativos (linhas tracejadas) e dos melhores modelos mistos de distribuições geométricas (linhas finas completas) (Tomasek, 2013).26	
Figura 3.7 - Localização dos estabelecimentos termais em Portugal (Silva e Dinis, 2015).....	29
Figura 3.8 - Distribuição e quimismo das águas minerais naturais em Portugal Continental (Ferreira, 2013). ....	32
Figura 3.9 - Localização das ocorrências termais de Portugal Continental e sua relação com as grandes unidades estruturais (IGM, 1998). ....	34
Figura 4.1 - Períodos de medição da 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> campanha de recolha de dados. ....	44
Figura 4.2 - Estabelecimentos termais por NUTS II em 2013 (DGEG, 2013).....	51
Figura 4.3 - Motivação da procura, por NUTS II (%) (ATP, 2013).....	52
Figura 4.4 - Pessoal ao serviço nos estabelecimentos termais em 2011 (DGEG, 2011).....	53
Figura 4.5 - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220 .....	56
Figura 4.6 - Amostra de água com cocktail de cintilação. ....	57
Figura 4.7 – Detetores passivos CR-39.....	58
Figura 4.8 - Detetor de radiação gama GAMMA SCOUT®. ....	59
Figura 4.9 - Cintilómetro portátil. ....	59
Figura 5.1 - N.º total de trabalhadores por estabelecimento termal em 2013.....	65



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Concentração de radão em diferentes tipos de aquíferos (adaptado de Sabroux, 2000) .....	17
Tabela 3.2 - Dose de radiação gama no ar exterior (Amaral et al., 1992).....	18
Tabela 3.3 - Efeito da ventilação na concentração de radão no ar interior .....	19
Tabela 3.4 - Estimativa do risco de morte por cancro do pulmão com origem na exposição ao radão, para não fumadores, fumadores atuais e população em geral (US EPA, 2003) .....	25
Tabela 3.5 - Classificação das águas minerais naturais segundo a temperatura (Diegues, 2010)....	30
Tabela 3.6 - Classificação das águas minerais naturais segundo o pH .....	30
Tabela 3.7 - Classificação das águas minerais naturais segundo a mineralização total .....	31
Tabela 3.8 - Classificação das águas minerais naturais segundo o quimismo .....	31
Tabela 3.9 - Classificação das águas minerais naturais quanto à radioatividade (adaptado de Teixeira, 2012). .....	33
Tabela 4.1 - Identificação dos estabelecimentos termais que participaram no estudo .....	40
Tabela 4.2 – Número de dados recolhidos por estabelecimento termal .....	43
Tabela 4.3 - Classificação das águas minerais naturais dos estabelecimentos termais em estudo (Cortez et al., 2012).....	46
Tabela 4.4 - Estrutura geológica dos estabelecimentos termais em estudo.....	48
Tabela 4.5 - Indicações terapêuticas dos estabelecimentos termais .....	50
Tabela 4.6 - Variáveis do “Questionário do estabelecimento termal” .....	54
Tabela 4.7 - Variáveis do “Questionário do trabalhador” .....	55
Tabela 4.8 - Variáveis do “Questionário da habitação” .....	55
Tabela 4.9 - Identificação das variáveis medidas e respetivas abreviaturas.....	56
Tabela 4.10 - Quadro resumo dos tratamentos estatísticos aplicados às variáveis em estudo .....	60
Tabela 4.11 – Matriz de correlação entre as diferentes variáveis estudadas .....	62
Tabela 5.1 - Período de funcionamento das instalações dos estabelecimentos termais que participaram no estudo. ....	64
Tabela 5.2 - Recolha de dados (ET1).....	69
Tabela 5.3 - Concentração de radão no ar interior (ET1).....	69
Tabela 5.4 - Concentração de radão na água (ET1) .....	71
Tabela 5.5 - Radiação gama total (ET1).....	71
Tabela 5.6 - Taxa de dose de radiação gama (ET1) .....	72
Tabela 5.7 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET1) .....	75

Tabela 5.8 - Resumo dos resultados obtidos para o ET1 .....	76
Tabela 5.9 - Recolha de dados (ET2) .....	77
Tabela 5.10 - Concentração de radão no ar interior (ET2) .....	77
Tabela 5.11 - Concentração de radão na água (ET2) .....	78
Tabela 5.12 - Radiação gama total (ET2) .....	78
Tabela 5.13 - Taxa de dose de radiação gama (ET2) .....	78
Tabela 5.14 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET2) .....	81
Tabela 5.15 - Resumo dos resultados obtidos para o ET2 .....	82
Tabela 5.16 - Recolha de dados (ET3) .....	83
Tabela 5.17 - Concentração de radão no ar interior (ET3 – E1) .....	83
Tabela 5.18 - Concentração de radão no ar interior (ET3 – E2) .....	84
Tabela 5.19 - Concentração de radão na água (ET3) .....	84
Tabela 5.20 - Radiação gama total (ET3) .....	85
Tabela 5.21 - Taxa de dose de radiação gama (ET3) .....	85
Tabela 5.22 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET3) .....	93
Tabela 5.23 - Resumo dos resultados obtidos para o ET3 .....	94
Tabela 5.24 - Recolha de dados (ET4) .....	95
Tabela 5.25 - Concentração de radão no ar interior (ET4) .....	95
Tabela 5.26 - Concentração de radão na água (ET4) .....	96
Tabela 5.27 - Radiação gama total (ET4) .....	97
Tabela 5.28 - Taxa de dose de radiação gama (ET4) .....	97
Tabela 5.29 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET4) .....	101
Tabela 5.30 - Resumo dos resultados obtidos o ET4 .....	102
Tabela 5.31 - Recolha dos dados (ET5) .....	103
Tabela 5.32 - Concentração de radão no ar interior (ET5) .....	103
Tabela 5.33 - Concentração de radão na água (ET5) .....	104
Tabela 5.34 - Radiação gama total (ET5) .....	105
Tabela 5.35 - Taxa de dose de radiação gama (ET5) .....	105
Tabela 5.36 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET5) .....	106
Tabela 5.37 - Resumo dos resultados obtidos para o ET5 .....	107
Tabela 5.38 - Recolha de dados (ET6) .....	107
Tabela 5.39 - Concentração de radão no ar interior (ET6) .....	108

Tabela 5.40 - Concentração de radão na água (ET6) .....	109
Tabela 5.41 - Radiação gama total (ET6) .....	109
Tabela 5.42 - Taxa de dose de radiação gama (ET6) .....	109
Tabela 5.43 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET6) .....	111
Tabela 5.44 - Resumo dos resultados obtidos para o ET6 .....	111
Tabela 5.45 - Recolha de dados (ET7).....	112
Tabela 5.46 - Concentração de radão no ar interior (ET7).....	112
Tabela 5.47 - Concentração de radão na água (ET7) .....	113
Tabela 5.48 - Radiação gama total (ET7) .....	114
Tabela 5.49 - Taxa de dose de radiação gama (ET7) .....	114
Tabela 5.50 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET7) .....	115
Tabela 5.51 - Resumo dos resultados obtidos para o ET7 .....	116
Tabela 5.52 - Recolha de dados (ET8).....	117
Tabela 5.53 - Concentração de radão no ar interior (ET8).....	117
Tabela 5.54 - Concentração de radão na água (ET8) .....	118
Tabela 5.55 - Radiação gama total (ET8) .....	118
Tabela 5.56 - Taxa de dose de radiação gama (ET8) .....	118
Tabela 5.57 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET8) .....	120
Tabela 5.58 - Resumo dos resultados para o ET8 .....	120
Tabela 5.59 - Recolha de dados (ET9).....	121
Tabela 5.60 - Concentração de radão no ar interior (ET9).....	121
Tabela 5.61 - Concentração de radão na água (ET9) .....	122
Tabela 5.62 - Radiação gama total (ET9) .....	122
Tabela 5.63 - Taxa de dose de radiação gama (ET9) .....	122
Tabela 5.64 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET9) .....	124
Tabela 5.65 - Resumo dos resultados obtidos para o ET9 .....	125
Tabela 5.66 - Recolha de dados (ET10).....	126
Tabela 5.67 - Concentração de radão no ar interior (ET10).....	126
Tabela 5.68 - Concentração de radão na água (ET10) .....	127
Tabela 5.69 - Radiação gama total (ET10).....	127
Tabela 5.70 - Taxa de dose de radiação gama (ET10) .....	127
Tabela 5.71 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET10) .....	130

Tabela 5.72 - Resumo dos resultados obtidos para o ET10.....	131
Tabela 5.73 - Recolha de dados (ET11) .....	132
Tabela 5.74 - Concentração de radão no ar interior (ET11) .....	132
Tabela 5.75 - Concentração de radão na água do ET11 .....	133
Tabela 5.76 - Radiação gama total (ET11).....	134
Tabela 5.77 - Taxa de dose de radiação gama (ET11) .....	134
Tabela 5.78 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET11) .....	137
Tabela 5.79 - Resumo dos resultados obtidos para o ET11.....	138
Tabela 5.80 - Recolha de dados (ET12) .....	139
Tabela 5.81 - Concentração de radão no ar interior (ET12).....	139
Tabela 5.82 - Concentração de radão na água (ET12) .....	140
Tabela 5.83 - Radiação gama total (ET12).....	140
Tabela 5.84 - Taxa de dose de radiação gama (ET12) .....	140
Tabela 5.85 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET12) .....	142
Tabela 5.86 - Resumo dos resultados obtidos para o ET12.....	142
Tabela 5.87 - Recolha de dados (ET13) .....	143
Tabela 5.88 - Concentração de radão no ar interior (ET13).....	144
Tabela 5.89 - Concentração de radão na água (ET13) .....	144
Tabela 5.90 - Radiação gama total (ET13).....	145
Tabela 5.91 - Taxa de dose de radiação gama (ET13) .....	145
Tabela 5.92 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET13) .....	148
Tabela 5.93 Resumo dos resultados obtidos para o ET13.....	148
Tabela 5.94 - Recolha de dados (ET14) .....	149
Tabela 5.95 - Concentração de radão no ar interior (ET14).....	149
Tabela 5.96 - Concentração de radão na água (Bq/L) no ET14 .....	150
Tabela 5.97 - Radiação gama total (ET14).....	151
Tabela 5.98 - Taxa de dose de radiação gama (ET14) .....	151
Tabela 5.99 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET14) .....	153
Tabela 5.100 - Resumo dos resultados obtidos para o ET14 .....	154
Tabela 5.101 - Recolha de dados (ET15) .....	154
Tabela 5.102 - Concentração de radão no ar interior (ET15).....	155
Tabela 5.103 - Concentração de radão na água (ET15) .....	156



Tabela 5.104 - Radiação gama total (ET15).....	156
Tabela 5.105 - Taxa de dose de radiação gama (ET15) .....	156
Tabela 5.106 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET15) .....	158
Tabela 5.107 - Resumo dos resultados obtidos para o ET15 .....	158
Tabela 5.108 - Recolha de dados (ET16).....	159
Tabela 5.109 - Concentração de radão no ar interior (ET16).....	159
Tabela 5.110 - Concentração de radão na água (Bq/L) no ET16 .....	160
Tabela 5.111 - Radiação gama total (ET16).....	161
Tabela 5.112 - Taxa de dose de radiação gama (ET16).....	161
Tabela 5.113 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET16) .....	165
Tabela 5.114 - Resumo dos resultados obtidos para o ET16 .....	166
Tabela 5.115 - Caracterização dos estabelecimentos termais quanto ao funcionamento .....	167
Tabela 5.116 - Caracterização das instalações .....	170
Tabela 5.117 – Relação entre os valores da concentração de radão no ar interior e o tipo de ventilação .....	172
Tabela 5.118 - Identificação dos trabalhadores por estabelecimento termal.....	174
Tabela 5.119 - Concentração de radão no posto de trabalho e na habitação do trabalhador e distância da habitação ao estabelecimento termal (posto de trabalho). .....	176
Tabela 5.120 - Secção II do questionário – Posto de trabalho .....	179
Tabela 5.121 – Concentração de radão no ar interior, rotatividade e anos de serviço no respetivo posto de trabalho .....	182
Tabela 5.122 - Secção III - Hábitos de vida dos trabalhadores .....	184
Tabela 5.123 - Secção IV- Historial clínico .....	185
Tabela 5.124 - Respostas ao <i>Questionário da Habitação</i> .....	187
Tabela 6.1 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (concentração de radão na água, Bq/L).....	191
Tabela 6.2 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (concentração de radão no ar interior, Bq/m <sup>3</sup> ).....	192
Tabela 6.3 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (dose efetiva anual, mSv/ano) .....	192
Tabela 6.4 – Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama por local de cada estabelecimento termal.....	195
Tabela 6.5 - Resultados globais obtidos nas habitações dos trabalhadores selecionados (concentração de radão no ar interior, Bq/m <sup>3</sup> ).....	196

Tabela 6.6 - Resultados globais obtidos nas habitações dos trabalhadores selecionados (dose efetiva anual, mSv/ano).....	197
Tabela 6.7 – Matriz de “risco relativo” .....	201
Tabela 6.8 – Identificação dos estabelecimentos termais em que se registaram valores da concentração de radão no ar interior superiores ao nível de referência, das habitações dos respetivos trabalhadores e em ambas as situações.....	202
Tabela 6.9 – Origem do radão/radiação .....	203

## Lista de Abreviaturas

AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
CRnÁgua	Concentração de radão na água
CRnAr	Concentração de radão no ar
CRnAr HabTb	Concentração de radão na habitação do trabalhador
DGS	Direção-Geral de Saúde
DRG	Taxa de dose de radiação gama
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ET	Estabelecimento termal
EUA	Estados Unidos da América
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HET	Habitação do trabalhador do estabelecimento termal
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
MS	Ministério da Saúde
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OMS	Organização Mundial de Saúde
ORL	Técnicas de Inaloterapia
RGT	Radiação gama total
RGT HabTb	Radiação gama total na habitação do trabalhador
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
UE	União Europeia
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>



# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Âmbito de aplicação e justificativa**

A pesquisa que sustenta esta tese foi realizada durante os anos de 2012-2015 no contexto do Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

A tese, intitulada “Exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais”, está focada para as doses a que estão expostos os trabalhadores dos estabelecimentos termais, tendo em conta a contribuição do meio ambiente fora do meio ocupacional (habitações).

A exposição humana a radiações ionizantes atrai a atenção da população, pelo que é importante transmitir toda a informação possível sobre as radiações e os seus efeitos. Este tema científico é referido muitas vezes pela comunicação social, centrando mais a sua atenção nas fontes de radiação artificiais, como por exemplo os reatores nucleares e os aparelhos de raios-X, e por vezes pelos decisores políticos. No entanto, as principais fontes de radiação a que os seres humanos estão expostos são as fontes de radiação naturais: raios cósmicos, raios gama provenientes das rochas, solos, paredes e pavimentos e radão das rochas e solos (Mueller, 1998).

Portugal é um país com algum risco em relação à radiação natural, visto que em grande parte do país o solo é constituído por rochas graníticas e estas contêm teores de urânio bastante elevados. Por isso, existe um elevado potencial para uma exposição significativa ao radão no ar interior dos edifícios com origem no solo sobre o qual foram edificadas, na água que os abastece e no tipo de material utilizado na sua construção.

Em Portugal, existe uma longa tradição no uso de águas minerais naturais para fins medicinais (termalismo). Por isso é que as ruínas dos balneários romanos existentes são valiosos testemunhos históricos da importância que as águas minerais assumiram no passado e que se encontram nos mesmos locais onde, ainda hoje, permanecem alguns estabelecimentos termais.

Atualmente o termalismo em Portugal vive uma fase de crescimento, evolução e inovação, que visa não só aperfeiçoar algumas técnicas de utilização clássica do termalismo, mas também atrair novos públicos, para uma vertente mais lúdica, a do “Bem-Estar” (Marques, 2012).

Muitas destas águas usadas no termalismo, pela natureza geológica da sua origem, têm também radão na sua constituição e podem constituir uma fonte de exposição à radiação natural através do incremento de dose ao fundo natural. No sentido de minimizar os efeitos nocivos da exposição às radiações ionizantes, estabeleceram-se diversas recomendações, que foram definidas internacionalmente e transpostas para a legislação vigente em Portugal, onde estão definidos os conceitos e valores dos limites de dose. Contudo, nos estabelecimentos termais desconhece-se as doses de radiação a que os trabalhadores estão expostos, pelo que o presente estudo tem um caráter inovador para Portugal.

Assim, o trabalho aqui apresentado pretende colmatar a ausência de dados sobre as doses anuais a que estão expostos os trabalhadores dos estabelecimentos termais portugueses, cumprindo assim, mesmo que apenas parcialmente, as obrigações legais decorrentes do Decreto-Lei n.º 222/2008.

## 1.2 Efeitos na saúde humana da exposição ao radão

O radão é a principal causa de incidência de cancro do pulmão, com exceção do tabaco (EPA, 2003; OMS, 2007). O risco proveniente da exposição a elevados níveis de concentração de radão no ar interior é precisamente o de aumento da probabilidade de contrair cancro do pulmão. Assim, estima-se que o risco de cancro no pulmão aumente 16 % a cada 100 Bq/m<sup>3</sup> de aumento de concentração de radão no interior de habitações (Darby, 2005).

Por se tratar de uma relação dose-resposta linear, a probabilidade de contrair cancro do pulmão aumenta proporcionalmente com o aumento da dose de exposição (Carvalho et al., 2006). A Organização Mundial de Saúde (OMS) classificou o radão e os seus descendentes como carcinogénicos do grupo 1 (WHO-IARC, 1998).

Adicionalmente, ser fumador e estar exposto a elevadas concentrações de radão aumenta a probabilidade de contrair cancro do pulmão.

O radão entra no corpo humano através de duas vias, por inalação (ar) ou por ingestão (água). Após a inalação, o gás entra em contacto com os tecidos pulmonares podendo provocar alterações degenerativas do tecido exposto (Moreira, 2011).

Em Portugal, e para o sexo masculino, observa-se uma diminuição dos anos de vida perdidos para certos tipos de cancro associados às vias respiratórias (cancro da traqueia, brônquicos e pulmão), mas apenas na população com mais de 50 anos (Figura 1.1).

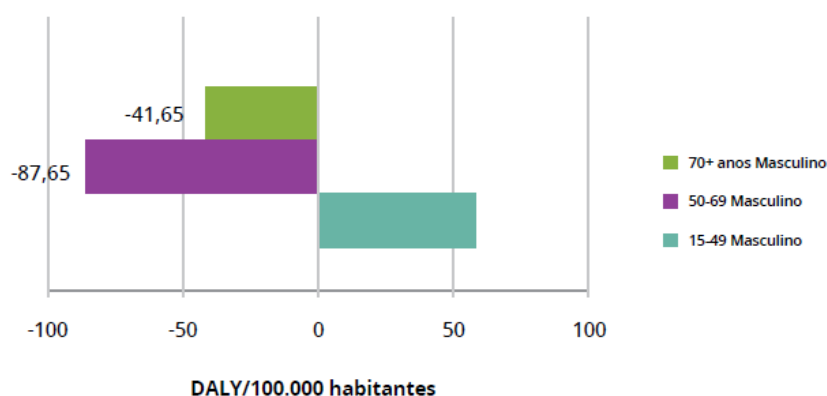


Figura 1.1 - Variação de anos de vida ajustados à incapacidade, da população portuguesa, devido ao cancro da traqueia, brônquios e pulmão – sexo masculino (1990-2010) (DGS, 2014).

Em particular, no caso do sexo feminino, verifica-se um agravamento da situação (Figura 1.2).

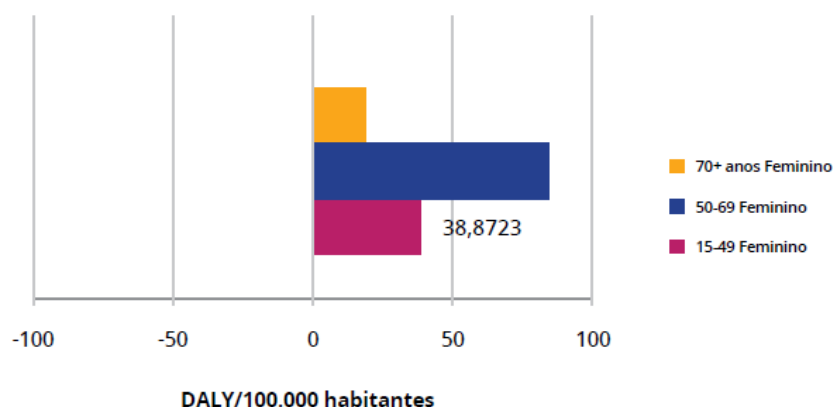


Figura 1.2 - Variação de anos de vida ajustados à incapacidade, da população portuguesa, devido ao cancro da traqueia, brônquios e pulmão – sexo feminino (1990-2010) (DGS, 2014).

Portanto, o presente estudo pretende ser um contributo para a sensibilização das entidades patronais e trabalhadores sobre o risco de exposição à radiação de origem natural nos locais de trabalho, bem como os efeitos que esta exposição pode ter na saúde dos trabalhadores, dando a conhecer os resultados obtidos neste estudo, em particular no que diz respeito aos valores obtidos para a concentração de radão nos estabelecimentos termais.

Pretende-se ainda propor a redução da exposição ocupacional ao radão no posto de trabalho, através de um conjunto de medidas de mitigação a serem implementadas no estabelecimento termal, tais como: i) implementar um sistema de vigilância, monitorização e proteção radiológica dos trabalhadores nos estabelecimentos termais, sempre que se justifique; ii) adquirir e fornecer aos trabalhadores máscaras como equipamento de proteção individual nos estabelecimentos termais, sempre que se justifique, otimizando assim a exposição; iii) obrigatoriedade na rotatividade da realização das tarefas, otimizando assim a exposição; iv) melhorar as condições de ventilação dos edifícios dos estabelecimentos termais, sempre que se justifique, nomeadamente dotar todos os locais de trabalho com um sistema de ventilação eficaz e se possível, com climatização. A ventilação deve ser efetuada a partir dos pisos inferiores.

Ao nível dos trabalhadores recomenda-se o uso adequado e sempre que se justifique, do equipamento de proteção individual fornecido pelo empregador, nomeadamente máscara.

Quanto aos moradores, e respetivas habitações, recomenda-se a adoção das seguintes medidas: i) adotar soluções arquitetónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo, se possível; ii) melhorar as condições de ventilação da habitação, nomeadamente ao nível do arejamento através da abertura diária das janelas e portas, ou outras opções; iv) sempre que possível proceder a medidas de isolamento da exalação de radão (pintura, selagem de fraturas, etc.).





## 2. RELEVÂNCIA, OBJETIVOS E RESUMO DA TESE

### 2.1 Relevância e motivação do tema

Os estabelecimentos termais são um importante setor de mercado, além da relevância histórica e social, a realização de trabalhos nestes locais pode originar uma exposição ocupacional ao radão.

A vertente económica dos estabelecimentos termais tem como objetivo quebrar o estigma da sazonalidade; pretendem atingir de forma abrangente os elementos ativos da sociedade, garantir a excelência no alojamento, explorar o binómio terapêutico/lazer, oferecer uma gastronomia de excelência, defender a interface para múltiplas valências turísticas e regionais e garantir a sustentabilidade a nível temporal. Por outro lado, os estabelecimentos termais contribuem para o desenvolvimento regional, para a criação de emprego e para a fixação das populações locais. São fruto de investimento, quer na requalificação quer na modernização dos estabelecimentos termais e geradores de riqueza (Frasquilho, 2007).

A vertente histórica revela que grande parte dos estabelecimentos termais tem origem romana, datando dos primórdios da Era Cristã; terão sido os Romanos a dotá-lo da sua dimensão lúdica. Os estabelecimentos termais enaltecem a vertente do lazer, tendo criado o serviço de *spa termal*, apoiado por infraestruturas plenas de conforto e exclusividade. A oferta dos serviços é feita em edifícios com uma beleza ímpar e com séculos de história, encontrando-se na Europa vários exemplos que impressionam pela inovação arquitetónica e construtiva não descurando a tradição histórica, como os casos das estâncias termais de Bath (Inglaterra), Vals (Suíça) e Budapeste (Hungria) (Silva et al., 2012).

A nível social, a utilização da água mineral natural na prestação de diversos serviços é frequente nos estabelecimentos termais. Essas águas contêm elementos radioativos naturais como é o caso do radão, sendo provável que tanto os trabalhadores como o público em geral possam ter estado ou estão expostos à radiação de origem natural no contexto termal.

A problemática da exposição às radiações ionizantes tem sido discutida desde os anos setenta tendo provocado um crescente interesse social na proteção contra as radiações ionizantes, assumido por vários estudos e discutido na comunidade científica internacional (Köteles, 2007). No entanto, durante muitos anos e até há bem pouco tempo, prevalecia o conceito de que se a radiação é de origem natural não faz mal ou não se pode fazer nada para evitar a exposição. Neste seguimento e durante muitos anos, a exposição ocupacional às radiações ionizantes apenas contemplou os trabalhadores do ciclo nuclear (inclui os mineiros das minas de urânio). Nos últimos anos, têm sido publicadas algumas recomendações europeias no sentido de proteger os trabalhadores e o público em geral contra os efeitos adversos para a saúde decorrentes da exposição às radiações ionizantes também de origem natural. Com o Decreto-Lei n.º 222/2008, 17 Novembro, qualquer exposição ocupacional superior a 1 mSv/ano é incluída no conceito “profissionalmente exposto”, seja de origem natural ou artificial. Por outro lado, a Diretiva 2013/59/EURATOM refere que a exposição ao radão nos locais de trabalho deve ser considerada como uma “situação de exposição existente”, no entanto, sempre que a exposição dos trabalhadores seja suscetível de exceder a dose efetiva de 6 mSv/ano, esta exposição deverá ser gerida como uma “situação de exposição planeada” em que se

aplicam os limites de dose e restrição de dose, e nos casos em que a dose efetiva seja igual ou inferior a 6 mSv/ano, a empresa deve manter a exposição sob observação.

A exposição às radiações ionizantes tem implicações ao nível da saúde humana. O perigo da radiação ionizante provém da sua capacidade de ionizar moléculas em células vivas e, assim, provocar mudanças bioquímicas. Em particular, as moléculas de água (o corpo humano é constituído maioritariamente por água) quando são ionizadas (radiólise da água) originam radicais livres (espécies químicas altamente reativas) causadores de alterações ao nível das moléculas, alterando a sua função ou tornando-as completamente disfuncionais.

No que diz respeito ao radão, diversos estudos comprovam que a exposição a elevadas concentrações de radão são prejudiciais para a saúde humana (Köteles, 2007). Segundo a OMS, o radão é um perigo subestimado, ainda que generalizado para a saúde das populações, sendo a segunda causa de cancro do pulmão.

A possibilidade de relação entre o cancro do pulmão e a exposição ao radão começou a ser discutida nos anos 50, em resultado de vários estudos realizados com mineiros. Estima-se que 50 % das mortes dos mineiros das minas de urânio em Shneeberg (Alemanha) e Joachimsthal (República Checa) tenha como causa a exposição ao radão (Donaldson, 1969, citado em Ferreira, 2009).

Em Portugal, e no âmbito do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto), a monitorização da exposição ao radão é obrigatória apenas em edifícios existentes construídos em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco, em particular devido à natureza geológica do substrato destas regiões. Neste sentido, foram realizados alguns estudos em estabelecimentos de ensino da Guarda, Porto, Coimbra, Vila Real, para avaliar a concentração de radão e os efeitos que poderá ter na saúde humana (Gonçalves e Pereira, 2007; Pereira et al., 2007; Pereira et al., 2008; Pinto et al., 2007; Pinto et al., 2008; Louro et al., 2010). Recentemente veio a público uma notícia sobre a existência de elevadas concentrações de radão na escola básica Ribeiro de Sousa, sito na região do Porto, tendo sido determinado o encerramento da mesma em agosto de 2012 (Sá et al., 2012).

Adicionalmente, os estabelecimentos termais utilizam águas subterrâneas com composições químicas diversificadas, contendo quantidades significativas de radionuclídeos naturais. Portanto, a presença de radão em elevadas concentrações no ar de espaços confinados, como nos estabelecimentos termais, poderá constituir um fator de risco ocupacional e ambiental.

As motivações e os critérios que estiveram na base da escolha do presente assunto como tema de investigação, foram razões de ordem científica e profissionais. Em relação às primeiras, existe o interesse em estudar o fenómeno da exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais portugueses, visto não existir nenhum estudo deste género em Portugal. No que respeita às segundas motivações, as visitas aos estabelecimentos termais fazem parte das minhas atividades como técnica de saúde ambiental a trabalhar numa Unidade Local de Saúde, nomeadamente a vigilância sanitária da qualidade da água em estabelecimentos termais. O facto de conhecer a realidade de alguns estabelecimentos termais que pertencem à área de influência no meu local de trabalho fez-me refletir sobre a questão da exposição ocupacional ao radão neste tipo de estabelecimentos, tendo consciência que este assunto ainda não está na agenda dos responsáveis dos estabelecimentos termais, dos trabalhadores e das empresas que prestam serviços de Medicina

no Trabalho. Por outro lado, o MS, através do Serviço de Saúde Ocupacional da Direção-Geral da Saúde (DGS), acolheu este trabalho de investigação com muito interesse e com muitas potencialidades na avaliação da exposição dos trabalhadores do setor do termalismo, incentivando os responsáveis dos estabelecimentos termais a participar neste estudo, solicitando ao mesmo tempo que os resultados lhes fossem comunicados, ainda que sob o compromisso de sigilo.

## 2.2 Pergunta de pesquisa e objetivos

O objetivo geral do trabalho proposto é avaliar as doses de exposição ao radão a que estão sujeitos os trabalhadores dos estabelecimentos termais, tendo em conta a contribuição do meio ambiente fora do meio ocupacional (habitações).

Tendo em vista este objetivo geral, foi formulada a seguinte questão:

*“A exposição ocupacional ao radão nos estabelecimentos termais traduz-se num risco ocupacional?”*

No sentido de dar resposta à questão levantada, foram formuladas as seguintes hipóteses:

H1: Existe exposição ocupacional ao radão nos estabelecimentos termais;

H2: A exposição ao radão nos estabelecimentos termais encontra-se acima dos valores aceitáveis.

Depois de formuladas as hipóteses, foram delineados os seguintes objetivos específicos direcionados à questão de investigação colocada previamente:

1. Em relação ao ambiente interior dos estabelecimentos termais:
  - Avaliar a concentração do gás radão no ar interior dos estabelecimentos termais;
  - Avaliar a concentração de radão das águas minerais naturais nas captações e nos locais de tratamento dos estabelecimentos termais;
  - Quantificar a contribuição das diversas fontes (ar interior e água) na concentração de radão nos estabelecimentos termais;
  - Identificar o tipo de ventilação existente nos estabelecimentos termais;
  - Identificar os hábitos de ventilação dos estabelecimentos termais;
  - Caracterizar o estabelecimento termal a nível do enquadramento geológico (estrutura do maciço e enquadramento regional).
2. Em relação às habitações:
  - Avaliar a concentração do gás radão nas habitações dos trabalhadores dos estabelecimentos termais;
  - Identificar o tipo de ventilação da habitação;
  - Identificar os hábitos de ventilação da habitação;
  - Caracterizar o local da habitação ao nível de enquadramento geológico;
  - Divulgar aos trabalhadores os resultados da avaliação da concentração de radão no ar interior da sua habitação;
  - Propor um conjunto de medidas de proteção à exposição ao radão na habitação.
3. Intervenção para melhorar o ambiente interior dos estabelecimentos termais:

- Divulgar aos concessionários os resultados das medições efetuadas no estabelecimento termal, através de um relatório para cada estabelecimento termal;
- Sugerir medidas de mitigação e recomendações relativas à exposição ocupacional ao radão nos estabelecimentos termais.

Este estudo de investigação envolveu a colaboração de várias instituições. As instituições que participaram, além da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foram a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, através do Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra e a Direção-Geral da Saúde, nomeadamente o Departamento de Saúde Ocupacional.

A Figura 2.1 mostra a estrutura das várias fases deste trabalho, desde a revisão bibliográfica sendo o ponto de partida para desenvolver a abordagem a seguir no levantamento de campo (recolha de dados), obtenção de resultados e sua discussão e por fim, as conclusões.

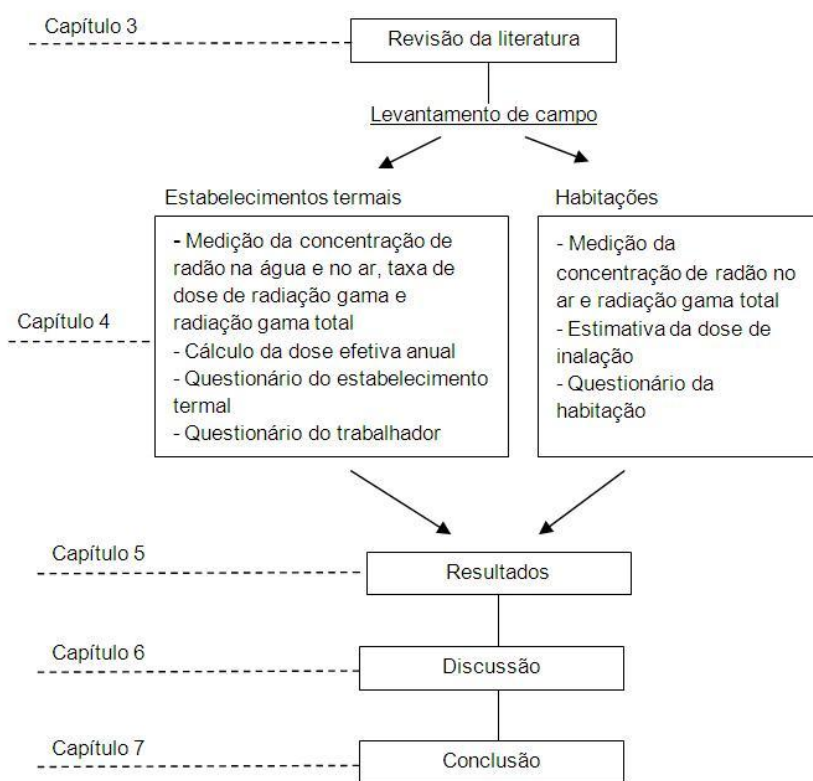


Figura 2.1 - Estrutura do plano de investigação.

**Capítulo 1:** Refere-se ao âmbito de aplicação e apresenta a justificação relativamente ao tema em estudo. Neste capítulo é ainda feita uma abordagem sobre os efeitos na saúde resultantes da exposição ao radão.

**Capítulo 2:** Descreve-se a relevância e a motivação para este estudo, bem como os objetivos e a estrutura de plano de pesquisa.

**Capítulo 3:** Dá-se uma visão geral sobre o estado da arte relativo à radioatividade natural, parâmetros que afetam a concentração de radão no ar interior, exposição ocupacional ao radão, evidências sobre os efeitos na saúde, medidas de redução da concentração de radão e enquadramento normativo.

Capítulo 4: Fornece-se a descrição dos participantes, materiais e métodos utilizados no trabalho de campo deste trabalho. Descreve os detalhes do estudo, da população em estudo, das medições e procedimentos para as medições da concentração de radão na água, concentração de radão no ar (estabelecimentos termais e habitações dos trabalhadores seleccionados), taxa de dose de radiação gama e radiação gama total (estabelecimentos termais e habitações dos trabalhadores seleccionados). Descreve-se ainda toda a metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho previsto neste capítulo.

Capítulo 5: Apresentam-se os resultados de todas as medições efetuadas: concentração de radão na água, concentração de radão no ar, taxa de dose de radiação gama e radiação gama total nos estabelecimentos termais. É ainda apresentado o cálculo da dose efetiva anual a que os trabalhadores estão expostos. Para as habitações dos trabalhadores seleccionados são apresentados os resultados da concentração de radão no ar interior e radiação gama total e da dose de inalação interna por inalação. São ainda divulgados os resultados dos questionários realizados neste estudo: questionário ao estabelecimento termal, questionário ao trabalhador e questionário referente à habitação. Neste capítulo foi ainda efetuado o tratamento estatístico das diferentes variáveis. Para a concentração de radão na água, concentração de radão no ar interior e radiação gama total foi aplicada a estatística descritiva. Para os valores da taxa de dose de radiação gama foram aplicados os estatísticos básicos, técnicas de auto-correlação, teste qui-quadrado, teste Kolmogorov-Smirnov e o teste Wilcoxon-Mann-Whitney.

Capítulo 6: Fornece-se uma discussão resumida dos resultados obtidos nos 17 estabelecimentos termais, nomeadamente: i) a comparação dos dados obtidos nas diversas medições com os valores previstos na legislação; ii) interpretação dos resultados das medições para as diferentes variáveis do estabelecimento termal; iii) análise das doses anuais a que os trabalhadores estão expostos; iv) justificação para os valores obtidos nas diversas medições e dose anual; v) interpretação da estimativa de dose de inalação fora do ambiente ocupacional; vi) comparação e interpretação da estimativa da dose ocupacional com a estimativa da dose de inalação fora do ambiente ocupacional; vii) interpretação dos resultados obtidos nos diversos questionários (questionário do estabelecimento termal, questionário do trabalhador e questionário referente à habitação) com os resultados obtidos nas medições realizadas; e viii) sugestão de algumas medidas que poderão ser adotadas pelos responsáveis dos estabelecimentos termais para diminuir a exposição ocupacional ao radão nestes locais.

Capítulo 7: Resumem-se as principais conclusões relativas à exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais e faz algumas recomendações sobre o plano de controlo radiológico das instalações (medidas de otimização da exposição). São feitas algumas considerações dirigidas aos responsáveis dos estabelecimentos termais e aos trabalhadores (no posto de trabalho e nas habitações). Sublinha ainda algumas linhas de trabalho para completar e desenvolver os estudos realizados nesta tese.



### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Radioatividade natural

A radiação é energia transmitida através do espaço ou de um meio material, sob a forma de ondas, com uma certa velocidade. Esta energia resulta da instabilidade dos átomos, devido ao excesso de energia no núcleo, que é libertada para atingir a estabilidade. Este processo pelo qual o átomo tende para a estabilidade pela emissão de radiação é denominado por decaimento radioativo.

Consoante o resultado da interação da radiação com a matéria, a radiação pode ser ionizante ou não ionizante. A radiação ionizante é a aquela que possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas (ionização). As radiações ionizantes mais conhecidas são: raios-X e raios gama (radiações eletromagnéticas), radiação alfa ( $\alpha$ ), radiação beta ( $\beta$ ), neutrões e prótons (radiações corpusculares). Cada um destes tipos de radiação tem um poder diferente de penetração originando diferentes graus de ionização na matéria. A radiação não ionizante é aquela que não possui energia suficiente para ionizar os átomos e as moléculas com os quais interage, sendo as mais conhecidas: luz visível, infravermelhos, ultravioletas, microondas de aquecimento e corrente elétrica.

No âmbito da radioatividade natural as radiações ionizantes emitidas são  $\alpha$ ,  $\beta$ , e  $\gamma$ .

A radiação  $\alpha$ , ou partículas  $\alpha$ , são núcleos do átomo de Hélio ( ${}^2\text{He}^4$ ) que possuem 2 prótons e 2 neutrões. São as mais pesadas e de maior carga, e por isso as menos penetrantes na matéria. O alcance destas partículas no ar é inferior a 10 cm, podendo ser bloqueadas com uma folha de papel. As partículas  $\alpha$  não atravessam a pele, pelo que o grande perigo deste tipo de radiação reside na exposição interna através da ingestão e da inalação.

A radiação  $\beta$ , ou partículas  $\beta$ , são partículas carregadas negativamente, ou seja eletrões, que são libertados quando o núcleo está com excesso de neutrões (decaimento  $\beta^-$ ) ou partículas carregadas positivamente (positrões) quando o núcleo está com excesso de prótons (decaimento  $\beta^+$ ). As partículas  $\beta$  são menores e mais leves do que as partículas  $\alpha$ , movimentam-se com maior velocidade, e apresentam maior poder de penetração em qualquer material. Podem penetrar até vários milímetros na pele, mas não penetram a uma distância suficiente para alcançar os órgãos mais internos do corpo humano. As partículas  $\beta$  apresentam um risco maior quando emitidas por materiais radioativos depositados internamente no corpo ou quando irradiam diretamente a pele e o cristalino dos olhos. Para fontes de fraca intensidade, uma folha de alumínio com alguns milímetros de espessura é suficiente bloquear este tipo de radiação (Moreira, 2011; Dinis, 2012).

A radiação  $\gamma$ , ou raios  $\gamma$ , não possuem nem carga nem massa. Este tipo de radiação consiste em pacotes de energia (quanta) transmitidos em forma de movimento ondulatório. A radiação  $\gamma$  apresenta comprimentos de onda muito baixos, mas muito energética, tem um poder de penetração infinito podendo atingir grandes distâncias no ar e atravessar vários tipos de materiais. É muito mais penetrante do que as partículas  $\alpha$  e  $\beta$ , não tendo um alcance definido. Este tipo de radiação atravessa facilmente o corpo humano podendo causar danos no núcleo das células, por isso são usados para esterilizar equipamentos médicos e alimentos (Moreira, 2011; Dinis, 2012).

A exposição à radiação ionizante pode ter origem em fontes naturais e artificiais. As fontes artificiais contribuem com cerca de 19% para a dose anual recebida pela população (Figura 3.1). A maior parte destas fontes inclui os equipamentos médicos que emitem radiação ionizante (equipamentos de diagnóstico ou de tratamento) para além das fontes artificiais presentes no ambiente resultante dos radionuclídeos dos produtos de cisão e activação, em virtude de actividades antropogénicas (testes nucleares, produção de energia via nuclear, produção de radioisótopos, acidentes, etc.).

A exposição à radiação ionizante de origem natural, na qual se enquadra este estudo, contribui com cerca de 81 % para a dose anual recebida pela população em geral, sendo que, no caso de Portugal, a maior parte da dose média anual a que a população está exposta por fontes naturais, tem origem no radão (57 %) e na radiação gama terrestre (18 %) (ITN, 2010).

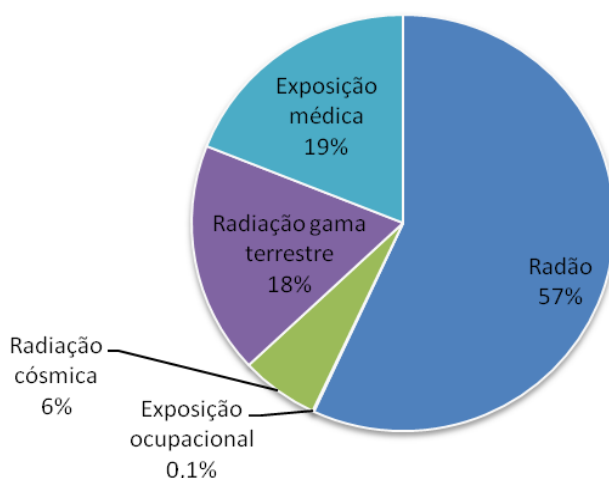


Figura 3.1 - Exposição do público à radiação ionizante (adaptado ITN, 2010).

Os elementos radioativos presentes, em maior parte, nas fontes de radiação natural são o U (urânio), o Th (tório) e o K-40 (potássio-40), sendo que os dois primeiros são os mais relevantes no âmbito deste estudo.

O urânio pode ser encontrado naturalmente na atmosfera, rochas e solos ou ainda dissolvido nas águas subterrâneas sob a forma de três isótopos:  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$ , no entanto a sua proporção na crosta terrestre é bastante diferente: 0.0054 %, 0.7204 % e 99.2742 %, respetivamente, pelo que a cadeia do  $^{238}\text{U}$  é a de maior preocupação.

A série do urânio  $^{238}\text{U}$ , representada na Figura 3.2, tem início com o isótopo principal do urânio, o  $^{238}\text{U}$ . Este isótopo decai por emissão  $\alpha$  formando o  $^{234}\text{Th}$  que por sua vez decai por emissão  $\beta$  originando o  $^{234}\text{Pa}$ . O tório, Th, é muito instável e tem um período de semi-vida de 24 dias e o protactínio, Pa, é ainda mais estável com um período de 1.14 minutos. Logo de seguida têm lugar cinco emissões  $\alpha$  sucessivas, originando o  $^{214}\text{Pb}$  que por novas transformações  $\alpha$  e  $\beta$  vai dar origem ao  $^{206}\text{Pb}$ , que é um isótopo estável do chumbo e o termo final da série. Alguns nuclídeos podem decompor-se por dois processos,  $\alpha$  e  $\beta$ , como é o caso do  $^{214}\text{Bi}$  no qual ocorre uma desintegração ramificada: 99.96 % dos átomos decaem emitindo radiações  $\beta$  originando o  $^{214}\text{Po}$ , que por sua vez se desintegra originando o  $^{210}\text{Pb}$ . No segundo ramo, 0.04 % dos átomos decaem para o  $^{210}\text{Tl}$  por emissão de partículas  $\alpha$  e este último desintegra-se por uma emissão  $\beta$  originando também o  $^{210}\text{Pb}$ .



Depois de catorze desintegrações sucessivas  $\alpha$  ou  $\beta$ , obtém-se um isótopo estável,  $^{206}\text{Pb}$  (Dinis, 2007).

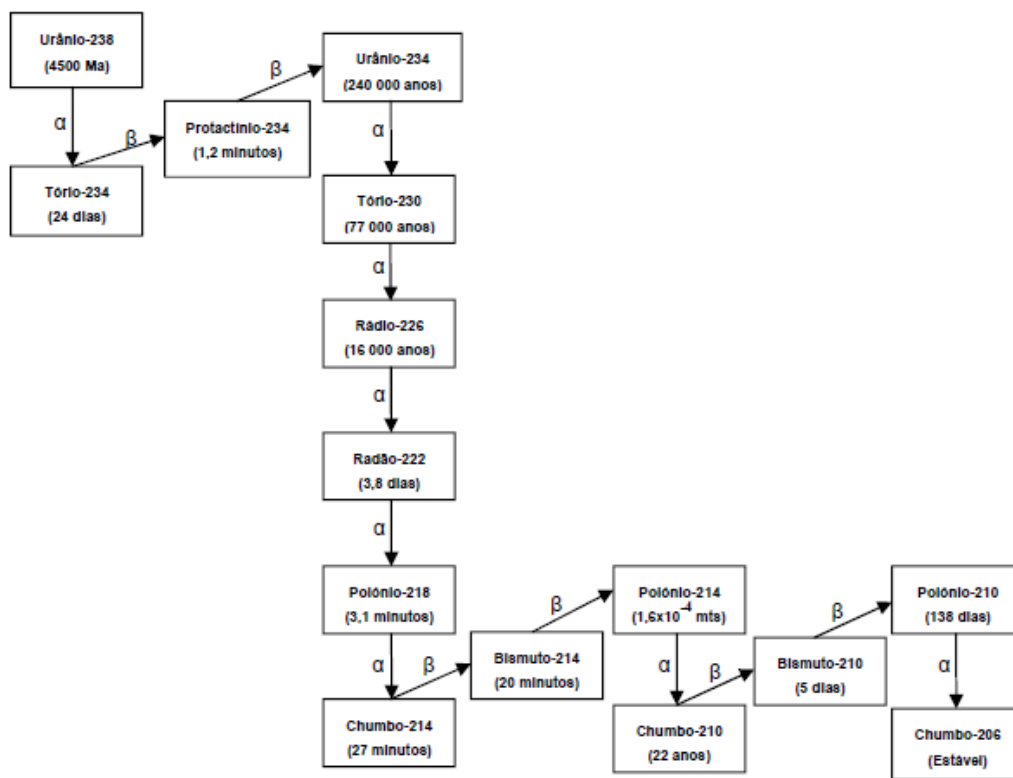


Figura 3.2 - Série de decaimento do urânio-238, tipo de decaimento ( $\alpha$  ou  $\beta$ ) e a respetiva semi-vida (adaptado de Human Health Fact Sheet, 2002).

Desta série de decaimento natural, o radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) é o único elemento gasoso e apesar de um período de semi-vida muito curto, de 3.82 dias, decai originando uma série de produtos sólidos com períodos de semi-vida ainda muito curtos ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Pb}$ ) que são muito mais preocupantes do ponto de vista de toxicidade (em particular, o  $^{214}\text{Po}$ ), devido à emissão de partículas alfa de elevada energia que acompanham o seu decaimento.

O radão possui ainda dois isótopos, o actínio ( $^{219}\text{Rn}$ ) mas com origem no  $^{223}\text{Ra}$ , pertencente à série radioactiva natural do  $^{235}\text{U}$  e o torão ( $^{220}\text{Rn}$ ) com origem no  $^{224}\text{Ra}$ , pertencente à série radioactiva natural do  $^{232}\text{Th}$ , cuja abundância na natureza é da ordem dos 10 ppm. No entanto, tanto o  $^{219}\text{Rn}$  como o  $^{220}\text{Rn}$  apresentam períodos de semi-vida muito curtos, de 4 e de 55 segundos, respetivamente, e a probabilidade de se difundir para a atmosfera antes de se desintegrar é muito pequena. A concentração de radão no ar é expressa em becquerel por metro cúbico de ar ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ).

Na década de 1980, a Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA), em resposta às preocupações entre os seus Estados-Membros, decidiu fazer uma avaliação da situação no que respeita à exposição ao radão nas habitações e nos locais de trabalho. Em 1988 a AIEA iniciou um projeto de investigação sobre o radão no meio ambiente (AIEA, 1994).

Atualmente o radão é reconhecido como a principal causa da incidência de cancro do pulmão, com a exceção do tabaco (Figura 3.2) (UNSCEAR, 2000; DGS, 2002; IAEA, 2003; Dinis and Fiúza, 2005; Radolic et al., 2005; Yazar et al., 2006; Al Zoughool et al., 2009; Ferreira et al., 2009;

Wiwanitkit, 2009; Nikolopoulos et al., 2010; Alberigi et al., 2011; WHO, 2011; Nikolov, et al., 2012; Silva et al., 2012; Erdogan et al., 2013; Robertson et al., 2013; Vaupotic et al., 2013; Santos et al., 2014; Silva et al., 2014).

O  $^{222}\text{Rn}$  encontra-se naturalmente presente no ambiente e pode ser facilmente inalado sem ser perceptível (elemento químico gasoso, incolor e inodoro) (Gray et al., 2009).

A exposição ao radão e aos seus produtos de decaimento ocorre predominantemente nas habitações e/ou nos locais de trabalho através de duas vias de entrada: por via da ingestão da água ou por inalação, sabendo que parte do gás presente no ar pode provir da libertação do radão quando se utilizam águas minerais naturais para fins terapêuticos (Koray et al., 2014; Nikolov et al., 2014). O radão também está presente no ar exterior, mas em quantidades inferiores, devido à diluição e a uma dispersão contínua pelo vento.

Em espaços confinados como caves, subterrâneos e eventualmente estabelecimentos termais, o radão pode estar presente em maiores concentrações, em particular, no caso em que a ventilação seja deficiente ou inexistente. Contudo, os principais locais de trabalho onde a exposição ao radão pode ser considerada como exposição ocupacional são as minas e outros locais de trabalhos subterrâneos, tais como grutas e galerias (onde se acumulam concentrações elevadas de radão), estabelecimentos termais (exposição através do uso e manuseamento da água termal), dessalinização de salmouras subterrâneas e operações em locais onde estão presentes substâncias naturais radioativas (extração de gás e petróleo, indústria dos fosfatos, etc.) (Nikolov et al., 2014). Neste seguimento, os estabelecimentos termais foram identificados pela Comissão Europeia como um dos locais profissionais com exposição ao radão (Nikolopoulos et al., 2010; Silva et al., 2014).

O risco de exposição ao radão é geralmente associado à inalação de concentrações elevadas de radão em ambientes confinados, sendo que o radão e os seus descendentes sólidos ficam alojados nos pulmões, aumentando o risco de dano nas células deste órgão (DGS, 2002; Silva et al., 2014).

O radão no ar interior pode ter origem no solo sob o assentamento dos edifícios mas também na água de consumo com origem em aquíferos subterrâneos através de nascentes ou de poços e furos profundos. Na água subterrânea, a concentração de radão varia consideravelmente (de 1 a 10 000 Bq/L), principalmente em função da concentração de urânio na rocha circundante e dependente da circulação de água (Radolic et al., 2005; Nikolov et al., 2014), pelo que os níveis de concentração de radão nas águas subterrâneas são geralmente mais elevados do que nas águas superficiais (rios e lagos) (Nikolov et al., 2012; Erdogan et al., 2013). Em Portugal, frequentemente as águas de superfície apresentam concentrações de radão inferiores a 10 Bq/L, enquanto as águas subterrâneas apresentam concentrações de radão por vezes superiores a 1000 Bq/L (Carvalho, 2007).

## **3.2 Parâmetros que afetam a concentração de radão**

### **3.2.1 Geologia**

Muitos radionuclídeos das séries de decaimento do  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  encontram-se naturalmente na crosta terrestre. A concentração da atividade destes radionuclídeos depende do tipo de rochas: os valores mais elevados estão associados às rochas ígneas plutónicas (granito) e os níveis mais baixos

às rochas sedimentares (calcário) (Tarim et al., 2012). No entanto, existem exceções, como algumas rochas de xisto e de fosfatos, que apresentam elevadas concentrações de atividade (UNSCEAR, 2000).

Os descendentes do radão em contacto com o ar atmosférico, formam *clusters* que se agregam às partículas de poeiras e fumos. Estes *clusters*, ou apenas as partículas alfa resultantes do decaimento do radão, ao atingirem os epitélios pulmonares (diversos tecidos constituintes do pulmão), são responsáveis pela irradiação das células que, mesmo sem serem atingidas, recebem informação das células interatuadas (APA, 2012).

Uma vez produzido no solo e em parte libertado dos suportes minerais onde se formou, a emanção do radão ocorre nos poros do solo, e a capacidade de migrar é função da sua permeabilidade e das suas características, por difusão ou por convecção até à superfície, onde ocorre a exalação do radão (que não sofreu decaimento) para a atmosfera.

O processo de exalação da litosfera para a atmosfera é condicionado por vários fatores: i) pela permeabilidade das rochas que depende da existência de poros interligados; ii) pela granulometria, textura e estrutura dos sedimentos (granulometrias mais finas são mais impermeáveis, assim como as mais grosseiras são mais permeáveis); iii) pelo grau de fraturação e pela configuração geométrica das fissuras; iv) pelas variações diárias, aumentando durante a noite e diminuindo ao longo do dia; v) pelo teor da humidade do solo e pela variação da pressão atmosférica (a teores de humidade e pressões atmosféricas elevadas correspondem baixas emanções e vice-versa) (Ferreira et al., 2009).

O radão pode entrar nos edifícios através de diferentes processos: i) advecção - movimentos causados pelas diferenças de pressão que existem entre o solo e o interior dos edifícios; ii) difusão – movimentos devidos a um gradiente de concentração de radão entre o solo e o interior dos edifícios; iii) infiltração – o ar exterior entra na habitação pelas portas ou janelas, contendo uma pequena concentração de radão, com variações diurnas e sazonais (Martinez, 1999; Bernardes, 2009) (Figura 3.3).

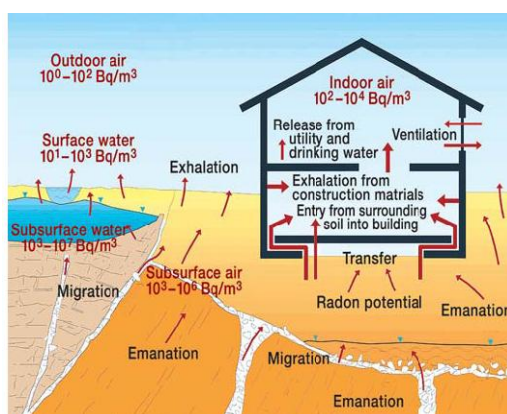


Figura 3.3 - Radão no ambiente (Schmidt, 2010).

Existem vários estudos acerca da influência da estrutura geológica nos níveis de radão no ar interior dos edifícios, e especificamente em Portugal, refira-se como exemplo, Pereira (2003) que realizou vários trabalhos de investigação em diversas áreas urbanas da região centro de Portugal, designadamente análises de urânio nas rochas e mais de um milhar de determinações da concentração de radão no solo e concentração de radão no interior de várias habitações. Os estudos

desenvolvidos por este autor permitiram concluir que existe uma correlação significativa entre os fatores geológicos e a concentração de radão nas habitações, sendo a concentração de radão mais elevada em rochas graníticas onde o urânio se encontra fixado em suportes mineralógicos próprios, bem como em estruturas mineralizadas em urânio, geralmente em caixas de falha (Pereira et al., 2003; Pereira et al., 2006).

Como o radão é produzido nas rochas e nos solos, sendo um elemento químico que pertence ao grupo dos gases raros, encontra-se naturalmente presente numa camada de vários metros de ar junto ao solo, podendo penetrar nos espaços confinados (Pereira et al., 2001; Simões et al., 2007). Sendo um gás, pode migrar dos locais onde é produzido ou então dissolver-se na água existente nos poros dos materiais geológicos (Pereira et al., 2001). Contudo, a concentração de radão varia consoante a região, dado que a distribuição de urânio nas rochas e solos não é uniforme (ITN, 2010).

Por outro lado, os próprios materiais de construção também podem ser uma potencial fonte de emissão de radão, como o betão, os tijolos cerâmicos, os materiais de construção naturais (principalmente granito), gesso natural e matérias-primas industriais (como fosfogesso), cinzas, etc. (WHO, 1986). O granito é um dos materiais de construção mais comuns e tem sido utilizado ao longo de milhares de anos, tanto para aplicações interiores como exteriores.

A composição das formações geológicas vai condicionar a concentração de radão em fontes de água perto dessas formações (Tarim et al., 2012). A libertação do radão da água para o ambiente ocorre quando esta entre em contacto com o ar, uma vez que o gás tem solubilidades muito diferentes nos dois meios, e o coeficiente de partilha é favorável ao ar. A proporção de radão transferido da água para o ar depende fundamentalmente da sua concentração, geralmente mais elevada nas águas subterrâneas, do volume e do grau de arejamento da água consumida e do processamento a que a água é sujeita nos circuitos e locais de utilização.

O radão também pode ser transportado pelo fluxo das águas subterrâneas. A produção do gás radão está dependente da concentração e distribuição mineralógica do urânio nas rochas, factor que condiciona a proporção dos átomos de gás que se libertam da sua estrutura sólida. Apenas os átomos gerados nos limites das fases minerais ou nas microfissuras possuem capacidade para se libertarem, ficando aprisionados os que são produzidos no interior da fase cristalina (quando as rochas não possuem fissuração ou degradação química, o radão produzido fica aprisionado no interior da sua estrutura cristalina e como tem um período de decaimento de poucos dias acaba por não emanar para o exterior da rocha) (Knutssø et al., 2002; Ferreira et al., 2009; Campos et al., 2010; Pereira et al., 2010).

Vários estudos têm sido realizados no sentido de correlacionar a ocorrência de elevadas concentrações de radão nas águas minerais naturais com fatores geológicos e hidrogeológicos. Um desses estudos foi realizado na parte sudeste da Sérvia, onde existem várias ocorrências de águas termais provenientes de rochas ígneas e metamórficas (Koray et al., 2014).

Em Portugal, foi feito um estudo para avaliar a radioatividade natural em águas subterrâneas da Serra do Buçaco (região centro de Portugal), em que se verificou que as águas com valores mais elevados de radão encontram-se localizadas nas unidades geológicas que contêm rochas com elevado teor de urânio e tório (Gonçalves e Pereira, 2007). Na Tabela 3.1, apresenta-se uma indicação da concentração de radão mais frequente em águas subterrâneas para diferentes tipos de

aquíferos, a qual está diretamente dependente da quantidade de rádio existente nas diferentes litologias (Ferreira, 2009).

Tabela 3.1 - Concentração de radão em diferentes tipos de aquíferos (adaptado de Sabroux, 2000)

<b>Tipo de aquífero</b>	<b>Concentração de radão (Bq/L)</b>
<b>Granítico</b>	500
<b>Metamórfico</b>	150
<b>Basáltico</b>	15
<b>Arenoso</b>	10
<b>Calcário</b>	1

Por sua vez, nos estabelecimentos termais são utilizados volumes apreciáveis de água mineral natural, que em função das características hidrogeológicas do aquífero e das captações, contêm concentrações variáveis de radão. Portanto, é de prever que a concentração de radão no ar dos estabelecimentos termais possa, por vezes, atingir valores elevados, sendo que nestes casos, o radão pode constituir um risco para os utilizadores, mas muito mais para os trabalhadores que permanecem nas instalações durante muito mais tempo.

No que se refere às minas subterrâneas, a concentração de radão varia substancialmente na sua atmosfera, dependendo principalmente do tipo de exploração, da formação geológica, da humidade e do grau de ventilação (Gnoni et al, 2008; Ferreira, 2009; Correia, 2010; Erdogan et al., 2013; Santos et al., 2014).

A concentração de radão terá um forte contributo para a dose total efetiva anual, através da exposição interna que ocorre principalmente pela inalação do radão. No entanto, a exposição externa no ambiente interior (*indoor*) também contribui para a dose efetiva anual através da exposição à radiação gama emitida essencialmente pelo solo e pelos materiais de construção no interior dos edifícios, neste caso, material de construção dos estabelecimentos termais. A exposição externa no ambiente exterior (*outdoor*) representa mais um contributo para a dose efetiva anual.

Amaral et al. (1992) realizou um estudo para determinar as doses de radiação gama no ambiente exterior em todo o território português. As taxas de dose de radiação gama no exterior encontram-se na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Dose de radiação gama no ar exterior (Amaral et al., 1992)

Região (Portugal Continental)	Dose de radiação gama no ar exterior (nGy/h)		
	Média aritmética	Média geométrica	Intervalo
Aveiro	66.5	60.6	20.7-190.7
Beja	51.7	48.1	16.7-91.7
Braga	152.2	145.4	95.5-226.5
Bragança	94.2	92.0	63.0-137.0
Castelo Branco	89.5	84.3	49.1-169.1
Coimbra	69.9	63.3	21.4-185.4
Évora	64.1	61.1	28.4-97.4
Faro	38.8	31.4	11.9-93.9
Guarda	122.9	116.2	60.4-193.4
Leiria	52.4	46.8	14.1-93.1
Lisboa	48.9	47.0	30.8-86.8
Portalegre	64.1	56.2	9.0-119.0
Porto	140.4	131.9	67.0-230.0
Santarém	49.2	43.1	22.0-111.0
Setúbal	41.5	37.6	16.6-77.6
Viana do Castelo	125.2	119.5	66.1-205.1
Vila Real	111.7	109.7	70.5-153.5
Viseu	143.3	137.2	56.5-208.5
<b>Total</b>	<b>84.4</b>	<b>79.5</b>	<b>9.0-226.5</b>

Tal como esperado, a dose de radiação gama no exterior é mais elevada nos distritos de Braga, Viseu e Porto, devido às características geológicas destas regiões.

### 3.2.2 Ventilação

O tipo de arquitetura do edifício bem como dos sistemas construtivos utilizados, os sistemas de ventilação e de renovação do ar são os fatores mais importantes que vão influenciar os níveis da concentração de radão no interior.

Ziane et al. (2014) realizou um estudo para medir a concentração de radão em alguns postos de trabalho do centro de investigação nuclear de Argel, na Argélia e verificou que, em média, a concentração de radão no ar interior ( $92 \text{ Bq/m}^3$ ) foi superior à concentração de radão no ar exterior ( $6 \text{ Bq/m}^3$ ). Observou ainda uma tendência geral da diminuição da concentração de radão dos pisos inferiores, em particular caves, para os pisos superiores, exceto nos casos em que o radão tem origem no rádio presente nos materiais de construção (Figura 3.4).

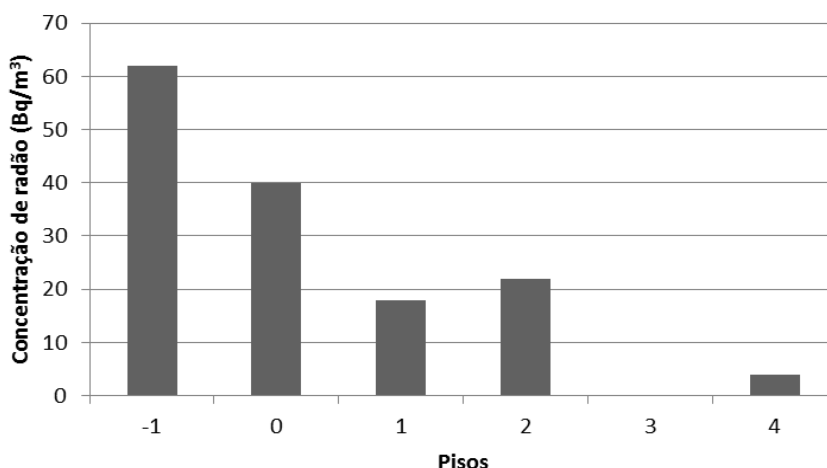


Figura 3.4 - Concentração de radão nos diferentes pisos (Ziane et al., 2014).

No entanto, os elevados valores da concentração de radão, verificados principalmente nos pisos inferiores, podem ser fortemente reduzidos utilizando sistemas de ventilação, tal como verificado na tabela seguinte, em que a concentração de radão em locais sem ventilação é superior à concentração de radão em locais com ventilação (Tabela 3.3) (Ziane et al., 2014).

Tabela 3.3 - Efeito da ventilação na concentração de radão no ar interior

Concentração de radão (Bq/m³)		
Localização	Sem ventilação	Com ventilação
A	1124 ± 319	33.02 ± 1.20
B	156 ± 52.71	63.28 ± 20.91
C	183.7 ± 48.72	49.06 ± 16.09

Sabe-se ainda que, em média, a concentração de radão no inverno é mais elevada do que nas outras estações do ano devido à atmosfera fechada nos edifícios durante a estação fria. Por outro lado, em média, a concentração do radão no verão é mais baixa, comparativamente com a concentração de radão no outono e na primavera, que são aproximadamente iguais (Figura 3.5) (Ziane et al., 2014).

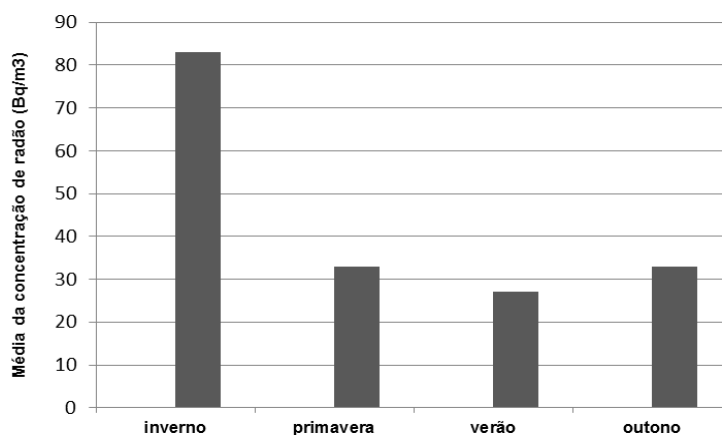


Figura 3.5 - Média das concentrações de radão por estação do ano (Ziane et al., 2014).

Os níveis de radão são significativamente superiores nos meses de inverno, uma vez que devido ao aquecimento das divisões, o ar quente sobe criando uma pressão negativa nos andares inferiores e

este efeito térmico leva à sucção do radão do solo para o edifício e também porque os espaços são menos vezes arejados durante o inverno.

Kávási (2011) conduziu um estudo abrangendo edifícios termais com banho turco, em Eger, na Hungria, para avaliar o efeito do sistema de ventilação na concentração de radão durante o período de trabalho. Este autor verificou uma súbita diminuição da concentração de radão durante a manhã e um aumento da concentração durante a noite, uma vez que o sistema de ventilação só funcionava durante o horário laboral. Durante as horas noturnas, a concentração de radão no ar era tipicamente cerca de 2000 Bq/m<sup>3</sup> (o valor máximo registado foi de 2720 Bq/m<sup>3</sup>), mas bastante inferior durante o período de trabalho, tendo-se verificado, no entanto, variações bastante amplas nos diferentes locais de tratamento: 631 Bq/m<sup>3</sup> (com uma variação de 297 a 1616 Bq/m<sup>3</sup>), 404 Bq/m<sup>3</sup> (1390-126 Bq/m<sup>3</sup>), 143 Bq/m<sup>3</sup> (171-62 Bq/m<sup>3</sup>) e 64 Bq/m<sup>3</sup> (85-32 Bq/m<sup>3</sup>) (Kávási et al., 2011).

A ventilação deficiente ou inexistente é um dos principais fatores que potencia a concentração de radão no ar interior, podendo resultar num risco elevado e mesmo inaceitável em particular para os trabalhadores dos estabelecimentos termais (Nikolov et al., 2012). De facto, a dose efetiva anual a que os trabalhadores estão expostos depende diretamente da concentração de radão no ar interior, sendo que o problema dos elevados níveis da concentração de radão no ar interior pode ser resolvido melhorando o sistema de ventilação nestes espaços (Campos et al., 2010; Nikolov et al., 2012).

No caso das habitações, deve ter-se em consideração os hábitos relativos à ventilação e ao arejamento das habitações, sendo que tais práticas têm um papel fundamental nos níveis de concentração de radão no ar interior (Louro et al., 2010).

### **3.3 Exposição ocupacional ao radão**

#### **3.3.1 O radão no interior dos estabelecimentos termais (ar e água)**

A União Europeia (UE) na Diretiva 96/29/EURATOM, atualmente revogada pela Diretiva 2013/59/EURATOM, identifica alguns grupos de trabalhadores expostos à radiação natural, nomeadamente trabalhadores dos estabelecimentos termais, devido aos níveis elevados de concentração de radão no ar interior (Ródenas et al., 2008).

Assim, vários estudos têm sido realizados na Croácia, Grécia, Turquia, Sérvia, Espanha, China, Áustria, Brasil, Hungria e Argélia, no sentido de medir a concentração de radão no ar interior e na água mineral natural de estabelecimentos termais com a finalidade de estimar as doses de radiação recebidas pelos trabalhadores. Nos parágrafos seguintes destacam-se os principais resultados e algumas conclusões obtidas em alguns destes estudos.

No caso da concentração de radão na água mineral natural verifica-se que, por vezes, os valores ultrapassam o nível de ação recomendado pela União Europeia (2001/928/EURATOM) para água potável (1000 Bq/L).

Por exemplo, na Turquia, na cidade de Bursa, a concentração de radão na água mineral natural de 7 poços (de um total de 27 poços em estudo) foi superior ao nível de ação recomendado pela União Europeia (2001/928/EURATOM) (1000 Bq/L). Contudo, os valores da concentração de radão em



19 fontes públicas, abastecidas por água da rede pública, são bastante inferiores, variando entre 0.9 e 53.6 Bq/L (Tarim et al., 2012). Os resultados obtidos neste estudo demonstraram uma correlação entre a concentração de radão e a estrutura geológica da região, uma vez que Bursa situa-se numa região granítica (Tarim et al., 2012). No entanto, no estudo realizado na Grécia os níveis da concentração de radão na água termal foram significativamente inferiores ao nível de ação (Nikolopoulos et al., 2010).

Também noutra região da Turquia, Konya, os níveis da concentração de radão na água termal foram superiores ao nível de ação (1000 Bq/L), variando entre  $0.6 \pm 0.1$  e  $70.3 \pm 3.6$  kBq/m<sup>3</sup> na primavera e de  $0.7 \pm 0.03$  a  $36.5 \pm 4.7$  kBq/m<sup>3</sup> no verão (Erdogan et al., 2013).

Em Espanha, o nível de ação para a concentração de radão na água potável também foi ultrapassado em 16 estabelecimentos termais, num total de 82 estabelecimentos termais estudados (Abo-Elmagd et al., 2010).

No caso da Croácia, os resultados do estudo realizado em nove estabelecimentos termais revelaram que a concentração de radão na água da nascente é superior à concentração de radão na água manuseada no interior do estabelecimento termal, como por exemplo na água da piscina termal. Esta situação pode ser explicada pelo facto de que se a água da piscina não for substituída diariamente, verifica-se uma redução significativa da concentração da atividade, devido ao decaimento do radão. Por outro lado, a água mineral natural é misturada com água da rede pública cujos níveis de radão são mais baixos, ou mesmo inexistentes (Radolic et al., 2005).

Quanto à exposição ao radão no ar interior, e relativamente aos níveis de concentração de radão em alguns hotéis termais na China, os valores da concentração de radão foram superiores ao limite estabelecido pela UE (300 Bq/m<sup>3</sup>), representando um potencial risco para os trabalhadores (Song et al., 2011; Abbasi et al., 2013).

Contudo, existem estudos em que os resultados obtidos para a concentração de radão no ar interior dos estabelecimentos termais foram inferiores ao limite previsto pela UE (300 Bq/m<sup>3</sup>), como por exemplo, num estudo realizado em nove estabelecimentos termais da Croácia, tendo a concentração de radão no ar interior sido medida nas piscinas, apresentando um valor médio de 40.3 Bq/m<sup>3</sup> (Radolic et al., 2005).

Por outro lado, sabe-se que os valores mais elevados da concentração de radão no ar interior ocorrem nos pisos subterrâneos, tal como verificado em estudos realizados em estabelecimentos termais na Croácia, Brasil, Grécia e China (Koray et al., 2014). No entanto, a concentração de radão no ar interior nos diferentes estabelecimentos termais é variável devido ao enquadramento geológico, sendo a concentração de radão no ar interior mais elevada do que a concentração de radão no ar exterior devido ao confinamento destes mesmos espaços (Alberigi et al., 2011).

Apesar da monitorização da exposição ao radão em Portugal ser obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto), em particular devido à natureza geológica do substrato destas regiões, entre todos os estabelecimentos termais que se enquadram nesta situação, apenas o estabelecimento termal das Caldas de Felgueira foi objeto de estudo para a concentração de radão no ar interior bem como na água mineral natural manuseada neste estabelecimento termal (Pereira et al., 2001).

Neste estudo, verificou-se que os valores mais baixos da concentração de radão no ar interior ocorreram predominantemente no primeiro andar (embora algumas vezes com valores superiores a  $100 \text{ Bq/m}^3$ ), e que os valores mais elevados ocorreram no segundo e terceiro andares (com valores na ordem dos  $200 \text{ Bq/m}^3$ ). Esta situação é contrária ao que seria de esperar, uma vez que a emanção do radão para o interior dos edifícios ocorre predominantemente a partir dos pisos térreos (Pereira et al., 2001).

A conclusão deste estudo foi que a grande parte da concentração de radão no ar deste estabelecimento termal terá origem na água, sendo sido esta conclusão suportada por uma correlação positiva, para uma probabilidade superior a 95 %, entre o volume de água utilizado e a concentração de radão no ar. Conclui-se ainda, a partir deste estudo, que dependendo das técnicas terapêuticas utilizadas nos estabelecimentos termais, aproximadamente 30 % do conteúdo de radão presente na água pode ser transferido para o ar circundante (Pereira et al., 2001).

Apesar dos elevados níveis de radão registados neste estabelecimento termal, a dose efetiva anual foi estimada em  $1.2 \text{ mSv/ano}$  e, portanto, não excedeu o limite legal de exposição ocupacional (Pereira et al., 2001).

Também na Croácia e no Brasil a dose efetiva anual obtida em alguns estabelecimentos termais é inferior ao valor limite de dose recomendado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP),  $20 \text{ mSv/ano}$ , sendo neste caso os trabalhadores classificados com a categoria B (Datye et al., 1997; Radolic et al., 2005; UNSCEAR, 2000; Erdogan et al. 2013).

Relativamente às doses anuais de radiação recebidas pelo público verifica-se que estas são residuais, pelo que os tratamentos não representam qualquer risco para a saúde, do ponto de vista da radioproteção (Campos et al., 2010).

### **3.3.2 Ar interior das habitações**

No ar interior das habitações, o radão pode ter origem em três fontes: as rochas e o solo sobre o qual a habitação está construída, os materiais de construção e a água. No entanto, normalmente, a maior fonte de radão nas habitações tem origem no solo sobre o qual assentam as fundações do edifício (Ferreira, 2009).

No passado, considerou-se que somente as concentrações de radão no ar interior dos edifícios acima de  $400 \text{ Bq/m}^3$  poderiam ser motivo para preocupação, contudo, estudos recentes parecem indicar que esse limite está longe de se poder considerar um parâmetro de segurança. A OMS recomendou em 2009 um valor bastante inferior,  $100 \text{ Bq/m}^3$ , não deixando no entanto de referir que não existe nenhuma concentração que possa considerar-se de risco nulo.

Em Portugal Continental foram efetuados estudos em 4200 habitações, tendo-se verificado que as concentrações de radão mais elevadas encontram-se em habitações situadas nas regiões graníticas (ITN, 2010).

Na região de Castelo Branco, onde afloram maioritariamente rochas graníticas, Pereira et al. (2007) realizou medições da concentração de radão em 152 habitações distribuídas em 3 áreas urbanas desta região. Os valores obtidos apresentam um amplo intervalo de variação, de 32 a  $1055 \text{ Bq/m}^3$  (mediana -  $110 \text{ Bq/m}^3$ ), sendo inferiores aos valores obtidos em diversas regiões urbanas das

Beiras, ainda que com substrato granítico. Os resultados indicam a presença de concentrações médias moderadas de radão no ar interior das habitações, comparativamente com as observadas noutras regiões do país. A dose efetiva de exposição às radiações ionizantes foi estimada a partir da taxa de inalação do radão e da exposição à radiação gama, sendo de 2.9 mSv/ano, ligeiramente superior à média de exposição para a população portuguesa, 2.4 mSv/ano (UNSCEAR, 2000).

A região da Guarda ocupa um lugar de destaque relativamente às concentrações de radão no ar interior das habitações, destacando-se de todas as regiões beirãs como a mais “rica” no que diz respeito à presença de radão, uma vez que as rochas e o solo da região contêm mineralizações de urânio. Os estudos desenvolvidos pelo Laboratório de Radioatividade Natural da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra colocam a cidade da Guarda no topo das cidades com maior radioatividade natural; cerca de 66 % das habitações estudadas apresentavam concentrações de radão superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup> durante o inverno (Louro et al., 2010).

Os resultados de um estudo realizado no centro de Portugal (Seia) para avaliar os níveis de radiação natural em 29 habitações cujo substrato é composto essencialmente por rochas graníticas, indicaram uma concentração de radão entre 40 a 1837 Bq/m<sup>3</sup>, com uma média geométrica de 181 Bq/m<sup>3</sup> (Pinto et al., 2007).

Outro estudo realizado em 88 divisões de 49 escolas de vários níveis de ensino, localizadas maioritariamente na região Centro, cujo substrato também é granito, verificou-se que em 38 % dos casos o valor da concentração de radão excedia o limiar de proteção previsto na legislação nacional, Portaria n.º 353-A/2013 (400 Bq/m<sup>3</sup>) (Pereira et al., 2008).

### **3.4 Evidências dos efeitos na saúde da exposição às radiações ionizantes**

Ao longo dos anos foram relatados vários efeitos biológicos em consequência da exposição às radiações ionizantes, entre os quais se incluem os danos que afetaram os primeiros cientistas na área da radioatividade, como Marie Curie. Foi somente após a segunda Guerra Mundial, em virtude das explosões nucleares nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki e posteriormente pelo uso cada vez maior de elementos radioativos nos mais variados setores de atividade, que se tomou consciência e se passou a estudar com maior detalhe os efeitos produzidos pela exposição a doses elevadas a curto prazo, bem como a exposição repetida a baixas doses a longo prazo (Mazzilli et al., 2002).

Os efeitos biológicos produzidos pela ação das radiações ionizantes no organismo humano resultam da interação dessas radiações com os átomos e as moléculas do corpo. Nessa interação, o primeiro fenómeno que ocorre é físico e consiste na ionização e na excitação dos átomos que resulta da troca de energia entre a radiação e a matéria. Posteriormente, ocorre o fenómeno químico que consiste na rutura de ligações químicas nas moléculas. Em consequência aparecem os fenómenos bioquímicos e fisiológicos. Após um intervalo de tempo variável, as lesões tornam-se observáveis, que podem ser ao nível celular ou ao nível do organismo como um todo. Na maioria das vezes, devido à recuperação do organismo, os efeitos não chegam a ser visíveis ou detetáveis (Mazzilli et al, 2002).

A exposição dos seres vivos às radiações ionizantes provoca assim quebras nas cadeias do ADN, sendo que, no caso do radão, a inalação deste radionuclídeo e, em particular, o posterior decaimento para os seus elementos sólidos no interior do organismo, expõe as membranas mucosas

dos brônquios a um elevado nível de radiação  $\alpha$  com o consequente risco de formação de neoplasias. Estas têm como principal representante o cancro do pulmão (Schmid et al., 2010). O risco de leucemia é restrito aos casos de exposição muito prolongada, como por exemplo, os profissionais com uma carreira muito longa na mineração do urânio no subsolo ou no processamento do urânio (Al Zoughool et al., 2009).

A OMS classificou o radão como um agente cancerígeno em 1986 (Santos et al., 2014). Analogamente, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Cancro (IARC) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) classificaram em 1999, o radão como um carcinogénico humano de classe A e classe 1, respetivamente. Esta classificação é baseada em vários estudos epidemiológicos realizados aos trabalhadores, confirmando uma maior incidência de cancro no pulmão em indivíduos fortemente expostos ao radão (Gnoni et al., 2008).

A evidência da relação e a incidência do cancro do pulmão com a exposição ao radão teve origem em estudos epidemiológicos realizados com mineiros, em especial das minas de urânio, expostos a altos níveis de radão, juntamente com outros produtos químicos, radioativos e partículas de poeiras (Al Zoughool et al., 2009) e, recentemente, em estudos epidemiológicos realizados em populações vivendo em regiões com níveis de radão elevados. É o caso de alguns estudos realizados nos EUA, França e Reino-Unido (Al Zoughool et al., 2009).

A extrapolação de estudos de coorte (grupo de indivíduos definido a partir das suas características pessoais: idade, sexo, etc., nos quais se observa, mediante exames repetidos, o desenvolvimento de uma enfermidade ou outro desfecho) realizados a mineiros, sugerem que o radão é a segunda principal causa de morte por cancro de pulmão, após o fumo do tabaco (Al Zoughool et al., 2009).

Na década de setenta, a evidência de que a exposição ao radão pode resultar em efeitos semelhantes, mas em outros ambientes para além das atividades de mineração, passou a ser uma preocupação. Agravada pelo facto do período de latência entre a exposição ao radão e o aparecimento de lesões e sintomas ser bastante longo, podendo variar entre 5 a 50 anos, (Lao, 1990; Ferreira, 2009) o que dificulta a identificação da causa/efeito em outros meios ocupacionais para além das minas, único caso provado cientificamente através dos estudos epidemiológicos. No entanto, a OMS aponta para uma variação de 6 a 15 % relativa à estimativa da proporção de casos de cancro do pulmão atribuível ao radão (OMS, 2007).

Neste contexto, vários estudos têm vindo a ser desenvolvidos em diversos países, no sentido de obter dados e estimativas sobre a relação entre a exposição ao radão e a incidência do cancro do pulmão ou entre a exposição ao radão e a mortalidade associada por cancro do pulmão, nomeadamente: nos Estados Unidos, cerca de 1-7 % das mortes por cancro de pulmão estão relacionadas com os níveis de radão no ar interior mas com origem na água subterrânea (Cothorn et al. em Campos et al., 2010) e a exposição ao radão é responsável por cerca de 15 000 a 22 000 mortes por ano devido ao cancro do pulmão (National Academy of Sciences, 1998; NCI, 2011); na União Europeia, a exposição ao radão é indicada como a causa de cerca de 20 000 mortes por cancro do pulmão a cada ano, representando cerca de 9 % do total das mortes por cancro no mundo e cerca de 2 % das mortes por cancro (Koray et al., 2014); na Grã-Bretanha, as estatísticas indicam que o risco de desenvolver cancro do pulmão durante a vida é 3 em 1000 para uma média de concentração de radão de 20 Bq/m<sup>3</sup>, um aumento de 30 em 1000 para uma concentração média de 200 Bq/m<sup>3</sup> (Metters, 1992 em Ferreira, 2009); na Alemanha, o cancro do pulmão é o terceiro

cancro mais comum em homens e mulheres, sendo que 32 850 casos foram diagnosticados em homens e 13 190 em mulheres (Smith et al., 2010).

No norte de Portugal, dependendo do modelo aplicado e do método usado para contabilizar o hábito de fumar, o número estimado de mortes por cancro do pulmão atribuído à exposição ao radão, varia de 1565 a 2406, para o período entre 1995 e 2004. Isto indica que das 8514 mortes observadas por cancro do pulmão, 18-28 % podem estar associadas com a exposição ao radão (Veloso et al., 2012).

Na Tabela 3.4 encontra-se representada a estimativa de risco de cancro do pulmão, considerando a exposição ao radão tanto em ambientes domésticos e ocupacionais para não fumadores (e que nunca fumaram), fumadores atuais e população em geral. O aumento do risco de cancro do pulmão devido à exposição ao radão é maior entre os fumadores do que entre os que nunca fumaram (USEPA, 2003).

Tabela 3.4 - Estimativa do risco de morte por cancro do pulmão com origem na exposição ao radão, para não fumadores, fumadores atuais e população em geral (US EPA, 2003)

Concentração de radão Bq/m <sup>3</sup>	Risco de morte por cancro do pulmão causado pela exposição ao radão nas habitações (%)		
	Não fumadores	Fumadores	População em geral
740	3.6	26.3	10.5
370	1.8	15	5.6
296	1.5	12	4.5
148	0.7	6.2	2.3
74	0.4	3.2	1.2
46	0.2	2	0.7
15	0.1	0.6	0.2

De facto, o risco de incidência do cancro do pulmão é várias vezes superior quando a exposição ao radão ocorre em fumadores (Köteles, 2007). Desta forma, o radão foi classificado como a principal causa de cancro do pulmão em não-fumadores e a segunda principal causa de cancro do pulmão para a população em geral (Smith et al., 2010).

No caso de ex-fumadores recentes apesar de não fazerem parte deste estudo, prevê-se que o risco seria um pouco menor do que para os fumadores atuais, mas a longo prazo, o risco para os ex-fumadores seria próximo do risco para os não-fumadores (e que nunca fumaram) (McCol, 2010).

A percentagem mais elevada de incidência do cancro do pulmão ocorre no sexo masculino, no entanto, a percentagem de mulheres com cancro do pulmão tem aumentado nos últimos anos, devido a mudanças nos hábitos de tabagismo. Estima-se que cerca de 80 % a 90 % de todos os novos casos de cancro do pulmão são devidos ao tabagismo (Smith et al., 2010).

Um estudo realizado em nove países europeus para determinar o risco de cancro do pulmão associado à exposição ao radão nas habitações permitiu ainda discriminar o risco associado a fumadores e não fumadores. Os resultados deste estudo podem ser sintetizados da seguinte forma: a média da concentração de radão nas habitações do grupo de controlo foi de 97 Bq/m<sup>3</sup>, em que 11 %

das medições ultrapassaram os 200 Bq/m<sup>3</sup> e 4 % ultrapassaram os 400 Bq/m<sup>3</sup> (nível de referência anteriormente definido pela UE). O risco de cancro do pulmão aumentou em 8.4 % (de 3.0 % para 15.8 %, para um intervalo de confiança de 95 %) por cada 100 Bq/m<sup>3</sup> de aumento da concentração de radão. Este estudo permitiu concluir que existem riscos apreciáveis resultantes da exposição ao radão nas habitações, particularmente para fumadores e ex-fumadores, sendo esta exposição responsável por cerca de 2 % de todas as mortes por cancro na Europa (Darby et al., 2004; RPIIR, 2010).

Na Figura 3.6 estão representados graficamente os riscos relativos de exposição ao radão para fumadores, ex-fumadores e não fumadores em ambiente ocupacional (a) e ambiente habitacional (b).

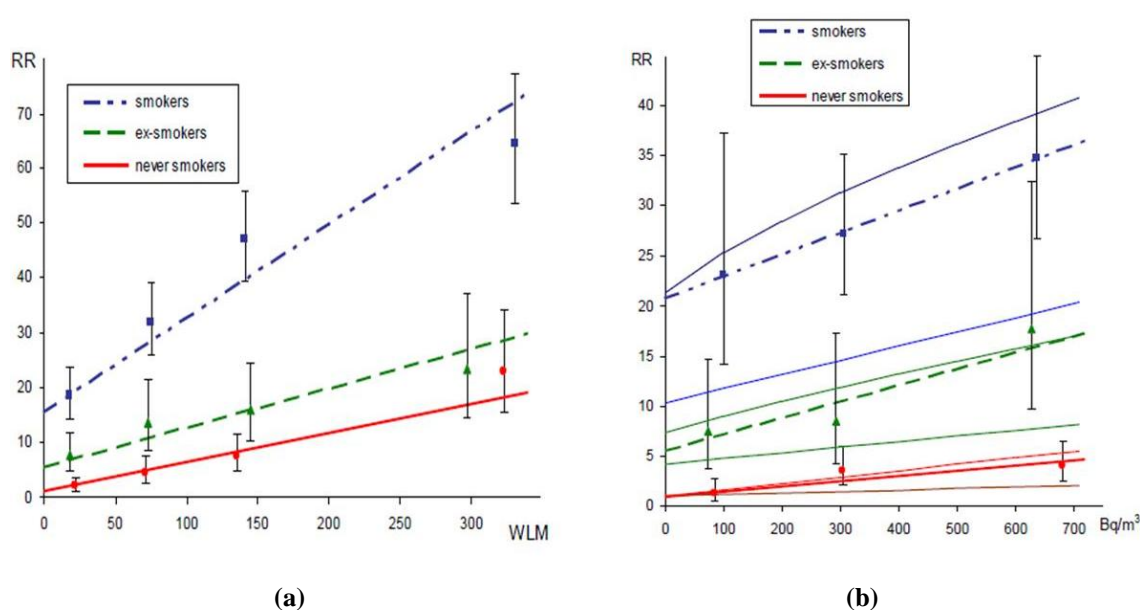


Figura 3.6 - Riscos Relativos (RR) em função da exposição ao radão: (a) em ambiente ocupacional, expressos em WLM – *Working Level Month*; (b) em ambiente habitacional expressos em função da concentração de radão em Bq/m<sup>3</sup>, resultantes dos modelos multiplicativos (linhas tracejadas) e dos melhores modelos mistos de distribuições geométricas (linhas finas completas) (Tomasek, 2013).

As diferenças observadas na relação dose-resposta obtidas neste estudo desenvolvido por Tomaseck (2013) levantaram a questão se os efeitos combinados da exposição ao radão e o facto de "ser fumador" seriam aditivos ou multiplicativos. Esta interação foi avaliada pelos modelos mistos de distribuições geométricas, dos quais o modelo aditivo e multiplicativo são casos especiais. Os resultados dos modelos mistos são relativamente mais próximos da interação aditiva do que da interação multiplicativa.

Existem ainda estudos relativos à exposição ocupacional ao radão que evidenciam uma correlação entre a exposição ao radão e a incidência de cancro de tiróide bem como uma probabilidade elevada entre este tipo de exposição e a incidência de cancro de estômago e de pulmão, resultante da ingestão e inalação, respetivamente (Jalili-Majarehshin et al., 2012). Outros estudos indicam ainda que o risco de incidência de cancro pulmonar induzido pela exposição ao radão é considerável, em particular, para os casos de diagnóstico de "doença pulmonar crônica" ou "bronquite crônica" (Zhukovsky et al., 2014).

Apesar dos riscos associados à exposição radiológica assumidos em geral pela comunidade científica, existe uma controvérsia, que tem vindo a crescer nos últimos anos, no que diz respeito aos eventuais efeitos benéficos associados à exposição a baixas doses de radiação. No relatório emitido pela American Nuclear Society em 1999, é referido que não há evidências científicas que demonstrem efeitos deletérios para a saúde, resultantes da exposição a baixas doses. A justificação, de que a exposição à radiação em pequenas doses pode surgir como benéfica, tem origem no estímulo das defesas corporais. Alguns estudos demonstraram ainda que, a radiação baixa a moderada, estimula os mecanismos de reparação celular (American Nuclear Society, 2001). No entanto, mesmo para doses abaixo de 100 mSv há muita incerteza sobre os efeitos globais na saúde pois os riscos de efeitos adversos ou são muito baixos para poderem ser observados ou nem existem.

### **3.5 Medidas de redução da concentração de radão**

Como referido anteriormente, a concentração de radão dentro dos edifícios depende de vários fatores entre os quais se destacam a relação dos edifícios com o solo e o potencial de emanção desse mesmo solo. Todas as soluções arquitetónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo, as que evitem as infiltrações do radão e as que facilitem a sua difusão para a atmosfera, contribuem para reduzir o risco de se atingirem concentrações perigosas no seu interior.

No caso de edifícios construídos nos centros das cidades em épocas passadas e que possuem elevado valor simbólico, patrimonial e prestígio reconhecidos por todos os cidadãos, situados em zonas de risco de radão, as técnicas disponíveis que visam a reabilitação urbana e arquitetónica destes edifícios, são de fácil aplicação, pelo que, regra geral, basta que se tenha em conta alguns detalhes construtivos que permitam melhorar as condições de ventilação do edifício e muito especialmente do espaço entre o piso térreo e o solo e que seja colocada uma barreira impermeável ao radão nos muros e pisos em contacto com o solo para que não existam infiltrações de radão para o interior. No entanto, alguns estudos recentes alertam para a existência de quase duas dezenas de métodos diferentes utilizados na medição do coeficiente de difusão ao radão em materiais impermeabilizantes o que pode dificultar a comparação entre diferentes materiais e logo a escolha do mais adequado (Torgal, 2013).

Só em casos especiais de edifícios situados sobre locais com elevada exalação de radão se justificará o recurso a sistemas de ventilação ativa (com uso de ventilação mecânica) ou passiva (com uso de ventilação natural) por aspiração entre o piso térreo e o solo. O custo da instalação destes sistemas, quando previstos em projetos, é bastante reduzido, sendo facilmente enquadrável no orçamento total da obra, com muitas vantagens em termos de saúde pública para os futuros utentes dos edifícios.

No que se refere às técnicas disponíveis para reduzir os riscos de exalação do radão para o interior dos edifícios a construir (novos edifícios), são semelhantes às utilizadas na reabilitação dos edifícios existentes, mas como podem ser projetadas antes da execução em obra, tornam-se mais económicas e mais eficientes, devido ao melhor planeamento.

Conclui-se portanto, que todos os esforços para reduzir as infiltrações de radão a partir do solo baseiam-se nas técnicas de ventilação ativa ou passiva, principalmente no solo abaixo do piso

térreo, no aumento da estanqueidade do pavimento em contacto com o terreno e no aumento da ventilação dos espaços de habitação (EPA, 1997).

### 3.6 Águas minerais naturais

A água, tal como o sol, são inseparáveis da vida na Terra. Segundo Peixoto (1979) a “*água é combustível da vida! A água e o ar constituem as necessidades mais essenciais ao Homem. Sem água, a existência de vida na Terra seria impossível*”.

São da Antiguidade Clássica os Banhos de Scotussa e os de *Epidauro* (Grécia) que atraíam multidões e eram célebres pelas curas aí obtidas. Vários estabelecimentos termais portugueses foram frequentados pelos romanos, permanecendo vestígios dessa presença em Conímbriga, Monte Real, S. Pedro do Sul, entre outras.

Os reis foram grandes utilizadores ou defensores do uso das termas, como por exemplo: Afonso II, das Astúrias e de Leão; Afonso V, de Leão e de Castela; D. Afonso Henriques, que tratou as sequelas do seu desastre em Badajoz em S. Pedro do Sul; a Rainha D.<sup>a</sup> Leonor de Lencastre, que fundou o hospital Termal das Caldas da Rainha.

Diversos autores mencionam, nas suas obras, as águas minerais, as termas e os tratamentos termais.

Veja-se, por exemplo, Eça de Queirós, num dos seus romances: O comendador Pinho “*alonga os passos para a Tabacaria Sousa, ao Rossio, onde bebe um copo de água de Caneças, e repousa até que a tarde refresque.*” E ainda ... “*portanto o universo está todo perfeito, e a vida perfeita, desde que Pinho, graças às águas de Vidago, conserve apetite e saúde...*”.

Uma das propriedades essenciais da água é a sua capacidade de dissolver muitos elementos bem como as mais diversas substâncias, em maiores quantidades do que qualquer outro líquido. Contribuem para a gradual desagregação das rochas.

As águas minerais naturais são consideradas do domínio público e exploradas através de concessão hidromineral.

A utilização destas águas no território português é anterior à fundação da nacionalidade. Os povoados construídos nas imediações de fontes ou de nascentes termais tomaram a designação de “caldas”, “termas” ou “banhos”, de acordo com o período histórico em que a designação se estabeleceu.

Portugal é um país rico em ocorrências de águas minerais naturais e de nascente. Muitas destas águas são aproveitadas para a vertente de termalismo e de engarrafamento. É na região centro que se localiza o maior número de estabelecimentos termais do país, assim como o estabelecimento termal com maior frequência (Termas de S. Pedro do Sul) e a água engarrafada de maior produção (Termas do Luso).





Figura 3.7 - Localização dos estabelecimentos termais em Portugal (Silva e Dinis, 2015).

Alguns dos estabelecimentos termais que constam na Figura 3.7, não se encontram porém em atividade e outras estão em remodelação. Salienta-se no entanto, a recuperação de muitos estabelecimentos termais na última década, por exemplo, só na última década foram inaugurados 8 novos estabelecimentos termais em Portugal: Longroiva, Almeida, Nisa, Unhais da Serra, S. Lourenço, Moimenta, Monte Real e Estoril.

As disposições legais atualmente em vigor e aplicáveis ao termalismo baseiam-se fundamentalmente na Lei n.º 54/2015 de 22 de junho (bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos), Decreto-Lei n.º 86/90 de 16 de Março (diploma regulador da atividade das águas minerais naturais de domínio público) e Decreto-Lei n.º 142/2004, de 11 de junho (regula o licenciamento, a organização, o funcionamento e a fiscalização dos estabelecimentos termais).

Na Lei n.º 54/2015 de 22 de junho transcrevem-se o conceito e definição de água de nascente: “as águas naturais de circulação subterrânea, bacteriologicamente próprias, que não apresentem as características necessárias à qualificação como águas minerais naturais, desde que na origem se conservem próprias para beber”.

Na Lei n.º 54/2015 de 22 de junho transcrevem-se o conceito e definição de água mineral natural: “as águas bacteriologicamente próprias, de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais, de que podem resultar eventuais propriedades terapêuticas ou simplesmente efeitos favoráveis à saúde”.

Do Decreto-Lei n.º 142/2004 transcrevem-se os seguintes conceitos ou definições:

- i) Termalista: “o utilizador dos meios e serviços disponíveis num estabelecimento termal”.
- ii) Balneário ou Estabelecimento Termal: “a unidade prestadora de cuidados de saúde na qual se realiza o aproveitamento das propriedades terapêuticas de uma água mineral natural para fins de prevenção da doença, terapêutica, reabilitação e manutenção da saúde, podendo, ainda, praticar-se técnicas complementares e coadjuvantes daqueles fins, bem como serviços de bem-estar termal”.

As águas minerais naturais utilizadas nos estabelecimentos termais estão sujeitas a controle laboratorial, através da realização de análises bacteriológicas e físico-químicas, nos termos da Portaria n.º 1220/2000, bem como às orientações do programa de controle da qualidade a estabelecer anualmente pela DGS.

Devido às suas propriedades “curativas” as águas minerais naturais são por vezes chamadas de água mineromedicinais ou devido à tradição por “águas termais”.

### 3.6.1 Características e composição das águas minerais

As águas minerais diferem das águas comuns por determinadas características e composição físico-química específica que lhes conferem capacidade de terem efeitos benéficos na saúde das pessoas, nomeadamente: temperatura de emergência, acidez, mineralização, quimismo e radioatividade.

Segundo a DGS, a classificação das águas minerais naturais é baseada nos seguintes parâmetros:

#### i) Temperatura de emergência:

As causas principais da termalidade das águas, por ordem de importância são: geotermismo, vulcanismo, presença de águas juvenis e águas magmáticas e reações químicas exotérmicas. A classificação segundo este parâmetro é apresentada na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 - Classificação das águas minerais naturais segundo a temperatura (Diegues, 2010)

Classificação	Temperatura de emergência (°C)
Hipotermais	< 25 °C
Mesotermais	25-35 °C
Termais	35-40 °C
Hiperterais	> 40 °C

#### ii) Acidez

O pH é por definição, o logaritmo (decimal) do inverso da concentração hidrogeniônica na água, expressa em hidrogeniões grama por litro. A classificação das águas minerais naturais segundo o pH encontra-se descrita na Tabela 3.6:

Tabela 3.6 - Classificação das águas minerais naturais segundo o pH

Classificação	pH
Águas ácidas	pH < 7
Águas neutras	pH = 7
Águas alcalinas	pH > 7

#### iii) Mineralização

A mineralização é a quantidade total de sais minerais dissolvidos na água, como por exemplo, cloretos, sulfatos, etc. (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Classificação das águas minerais naturais segundo a mineralização total

Classificação	Mineralização Total
Águas Hipossalinas	< 200 mg/l
Águas Fracamente Mineralizadas	200 – 1000 mg/l
Águas Mesossalinas	1000 – 2000 mg/l
Águas Hipersalinas	> 2000 mg/l

Nas análises físico-químicas das águas, a mineralização total é a soma das quantidades dos aniões, dos catiões e da sílica.

#### iv) Quimismo

Os aniões ocorrem nas águas em concentrações maiores e menores. É a percentagem de determinado anião que determina a classificação inicial de uma água. Por exemplo: bicarbonatadas, cloretadas, sulfuradas e sulfatadas (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 - Classificação das águas minerais naturais segundo o quimismo

Classificação	Quimismo das águas
Águas sulfúreas	Contendo o ião $\text{HS}^-$ e águas sulfídricas se contiverem ácido sulfídrico livre e tiosulfato ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ )
Águas férreas	Águas contendo o ião $\text{Fe}^{2+}$ em teor superior a 3 mg/L
Águas cloretadas	Contendo o ião cloreto ( $\text{Cl}^-$ )
Águas bicarbonatadas	Contendo o ião $\text{HCO}_3^-$
Águas sódicas	Contendo o ião $\text{Na}^+$
Águas sulfatadas	Contendo o ião sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
Águas alumínicas	Águas contendo o ião $\text{Al}^{3+}$ em teor superior a 1 mg/L
Águas fluoretadas	Águas contendo o ião fluoreto $\text{F}^-$ em teor superior a 1 mg/L
Arsenicais	Contendo vestígios de arsénio
Litiadas	Contendo lítio em teor superior a 3 mg/L
Borosilicatadas	Contendo boro e silício

Os catiões ocorrem nas águas em concentrações variáveis e determinam a classificação secundária de uma água, a partir da classificação por aniões, como por exemplo, bicarbonatadas sódicas ou cálcicas, cloretadas sódicas ou calcárias, etc..

As águas minerais contêm ainda um conjunto de elementos, embora em concentrações muito pequenas (na ordem de microgramas por litro), sobretudo metais (boro, alumínio, manganês, ferro), que constituem a sua componente vestigial.

Na Figura 3.8 apresenta-se a distribuição das águas minerais naturais em Portugal Continental segundo o quimismo.

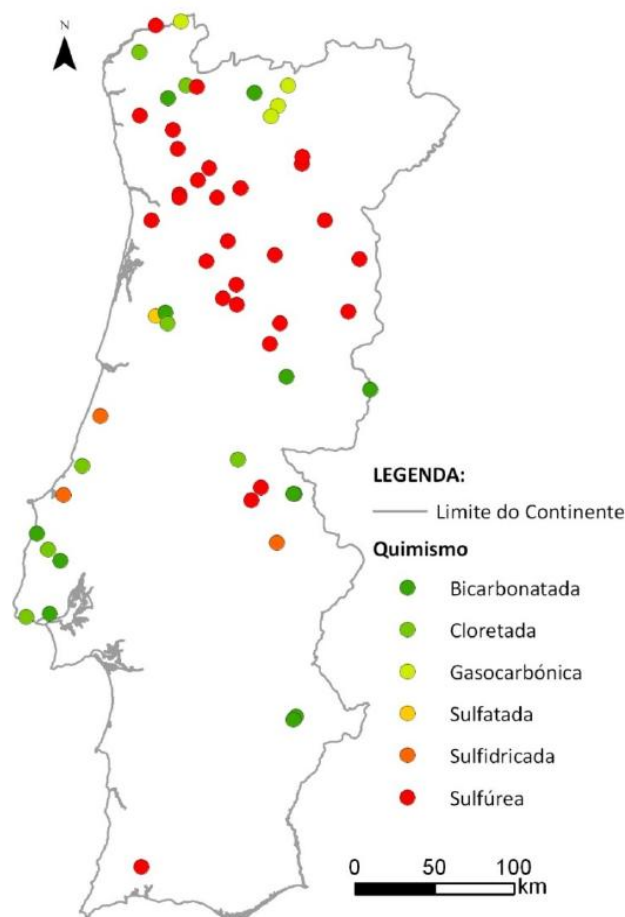


Figura 3.8 - Distribuição e quimismo das águas minerais naturais em Portugal Continental (Ferreira, 2013).

O maior número de estabelecimentos termais em Portugal desenvolveu-se em emergências de águas sulfúreas. No entanto, existe uma boa diversidade de oferta terapêutica decorrente da existência de balneários com os diversos tipos de água referidos.

Em alguns estabelecimentos termais desenvolveu-se a indústria de engarrafamento, que não é objeto de estudo neste projeto de investigação.

## V) Radioatividade

Antigamente o conteúdo de radão das águas minerais naturais era muito valorizada, hoje tal não se verifica, uma vez que é praticamente desvalorizado sob o ponto de vista de interesse terapêutico, a não ser e em sentido negativo, em termos de segurança.

Em Portugal, M. D'Almeida e J. D. Almeida, no inventário hidrológico de Portugal, de 1975, respeitam ainda a classificação de “*não radioativas*” e “*radioativas*” – estas quando com radioatividade superior a  $\text{m}\mu\text{C/L}$  e, por sua vez, subdivididas em “*fracamente radioativas*” ( $> 2 < 10 \text{ m}\mu\text{C/L}$ ), “*bastante radioativas*” ( $> 10 < 20 \text{ m}\mu\text{C/L}$ ), “*fortemente radioativas*” ( $> 20 < 40 \text{ m}\mu\text{C/L}$ ) e “*muito fortemente radioativas*” ( $> 40 \text{ m}\mu\text{C/L}$ ).

Esta unidade “ $\text{m}\mu\text{C/L}$ ”, pouco comum hoje em dia por se encontrar obsoleta, denomina-se por Mache (em homenagem ao físico alemão Mache-Einheit, plural Maches) e representa uma unidade de medida de radioatividade volumétrica utilizada na indicação da concentração de radão nas águas de nascentes, ou seja, é a atividade de radão num litro de água. Deixou de ser utilizada em 1985,

quando foi substituída por becquerel por litro (símbolo Bq/L), sendo 1 mache equivalente a 10.175 Bq/L (UNSCEAR, 2006).

Por uma razão de simplificação, é hoje defendida uma classificação mais simples, conforme ilustra a Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Classificação das águas minerais naturais quanto à radioatividade (adaptado de Teixeira, 2012).

<b>Classificação</b>	<b>Radioatividade em termos de radão</b>
<b>Águas não radioativas</b>	< 20 Bq/L
<b>Águas radioativas</b>	20-51 Bq/L
<b>Águas fortemente radioativas</b>	> 51 Bq/L

As termas portuguesas mais radioativas, não pelo teor de radão mas porque tinham significativa quantidade de rádio, eram as Termas de Caria, sito a sul de Belmonte, desativadas há muitos anos (Teixeira, 2012).

Porém, importa referir que algumas águas hipomineralizadas e/ou hipomineralizadas sulfúreas principalmente da região Centro, pela sua natureza e pelos terrenos que atravessam (terrenos xisto-graníticos com mineralizações secundárias de urânio associadas), são também águas radioativas.

Pelo contrário, existem águas de terrenos do secundário ou do terciário e quaternário, tais como Curia e Azenha, são praticamente desprovidas de radioatividade (da ordem dos 0.4 mμC/L).

### 3.6.2 Enquadramento geológico-estrutural

A maioria das nascentes termais existentes em Portugal Continental (com temperaturas de emergência entre os 20 °C e os 76 °C) encontram-se localizadas na região Norte/Centro do País, fruto das características geológicas e estruturais distintas da restante parte do território Português.

Em Portugal Continental podemos localizar três unidades fundamentais, distintas, quer do ponto de vista cronológico, quer da estrutura de terrenos. Essas unidades morfoestruturais são: i) *Maciço Hespérico*; ii) *Orlas Mesocenozóica Ocidental ou Lusitana e Orla Meridional ou Algarvia* e iii) *Bacia Cenozóica do Tejo e do Sado*, pelo que as ocorrências de águas termais apresentam características consideravelmente distintas (Figura 3.9).

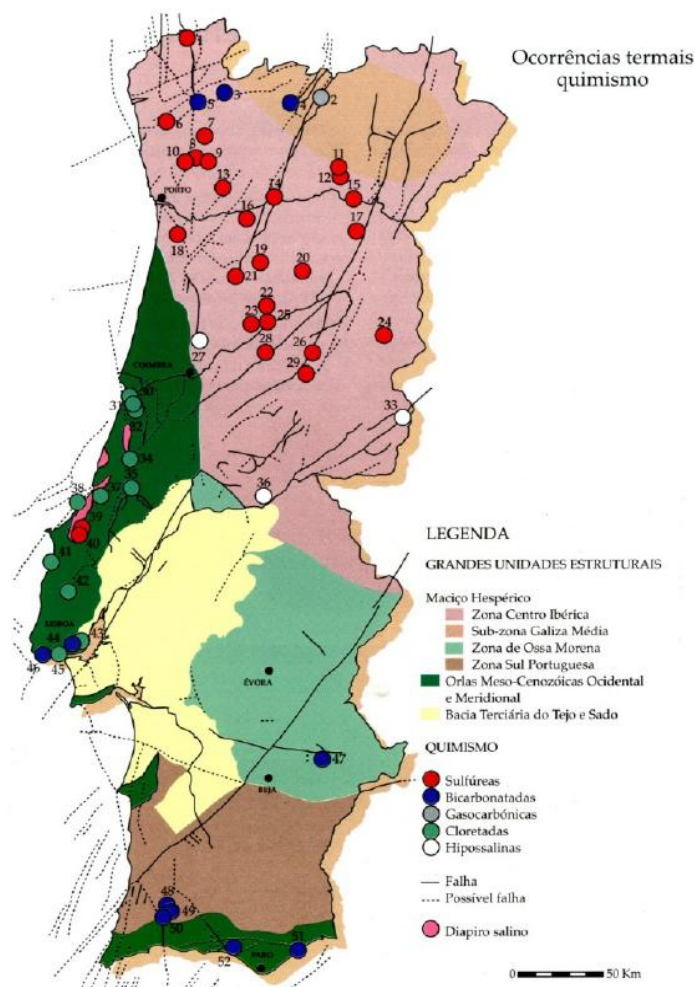


Figura 3.9 - Localização das ocorrências termais de Portugal Continental e sua relação com as grandes unidades estruturais (IGM, 1998).

Relativamente ao *Maciço Hespérico*, as nascentes termais encontram-se preferencialmente localizadas ao longo de alinhamentos de orientação NNE, NE e ENE e associadas a rochas granitóides e xistosas, assim como a filões quartzosos ricos de mineralização de sulfuretos. Trata-se de águas essencialmente sulfúreas, fracamente mineralizadas, encontrando-se algumas bicarbonatadas e gasocarbónicas, estas últimas apresentando mineralização elevada. As águas hipossalinas parecem correlacionar-se, principalmente, com ambientes geológicos onde predominam rochas quartzíticas.

No caso da *Orla Meso-Cenozóica Ocidental* a geologia é dominada por extensas formações sedimentares. As nascentes termais ocorrem junto às falhas que originam os vales tífônicos das áreas de diapirismo gipso-salino. Como resultado, estas águas são cloretadas-bicarbonatadas-sódicas, sendo de realçar igualmente a presença de águas termais sulfatadas-cálcicas. Trata-se de águas hipersalinas com valores de pH próximo da neutralidade. Na *Orla Mesocenozóica Ocidental ou Lusitana e Orla Meridional* as águas termais são essencialmente bicarbonatadas-sódicas e bicarbonatadas-cálcicas devido à interação com rochas ígneas e sedimentares, respectivamente.

A temperatura de emergência que a maioria destas águas apresenta (40 °C a 45 °C) permite uma variedade de aplicações terapêuticas (balneoterapia, aquecimento urbano, aquecimento de estufas, piscicultura, etc.), tornando-as igualmente num recurso geotérmico com grandes potencialidades

futuras. Um exemplo disso são as Termas de S. Pedro do Sul, que aproveitam a temperatura da água para geotermia.

### 3.7 Enquadramento normativo

#### 3.7.1 Radão no ar interior

A OMS recomendou a redução do radão no ar interior para valores abaixo de 100 Bq/m<sup>3</sup> (média anual) ou, caso não seja possível, propôs que numa primeira etapa se adopte o limite de 300 Bq/m<sup>3</sup> e se atue no sentido de progressivamente reduzir esta exposição (WHO, 2009).

Por outro lado, a UE aprovou recentemente como concentração de referência para limitar a exposição ao radão, o valor de 300 Bq/m<sup>3</sup> (média anual) no ar interior das construções, incluindo habitações e locais de trabalho. Este valor de referência alterou as recomendações anteriores (de 400 e 200 Bq/m<sup>3</sup> para edifícios existentes e novas construções, respetivamente), pelo que deverá ser agora aplicado em todos os Estados Membros (Diretiva 2013/59/EURATOM).

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, estabelece o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior. No artigo 36º “*Ventilação e qualidade do ar interior*”, refere-se que os limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, onde se inclui o radão, são estabelecidos na Portaria n.º 353-A/2013, especificando o limiar de 400 Bq/m<sup>3</sup> para a exposição ao radão, sendo a sua medição e monitorização obrigatória apenas em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

#### 3.7.2 Radão na água

As águas minerais naturais pertencem ao domínio público do Estado e quando possuem determinadas propriedades terapêuticas podem ser utilizadas em estabelecimentos termais (APIAM, 2010).

A gestão destes recursos hidrominerais prevista no regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março, nomeadamente a atribuição de concessão de exploração, requer um estudo radioativo da água, conforme o disposto no regulamento das águas minerais, Decreto-Lei n.º 86/90 de 16 de Março. No entanto, não está definido na legislação nacional nem na europeia os parâmetros e valores dos limites radiológicos a que devem obedecer as águas minerais naturais.

Por outro lado, o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, que regula a qualidade da água destinada ao consumo humano prevê o controlo de parâmetros radioativos, estabelecendo um limite de 0.5 Bq/L para a atividade da radiação  $\alpha$  e um limite de 1 Bq/L para a atividade da radiação  $\beta$ .

As recomendações da OMS apontam para a necessidade de controlo quando a concentração de radão na água para consumo do público excede 100 Bq/L. Nos Estados Unidos foi adotado o limite de 150 Bq/L para os abastecimentos de água privados.

Para abastecimentos públicos a Comissão Europeia, através da Recomendação 2001/928/EURATOM, relativa à proteção da população contra a exposição ao radão no abastecimento de água potável, estabeleceu um nível de referência de 100 Bq/L e um nível de ação de 1000 Bq/L, ao qual deverá ser efetuada uma ação de correção justificada com base na proteção radiológica. Uma vez que as águas minerais pressupõem uma utilização pontual não há valor de referência como limite para a concentração de radão.

Por outro lado, a diretiva 2013/51/EURATOM de 22 de outubro, que estabelece os requisitos para a proteção da saúde pública em geral no que diz respeito aos elementos radioativos presentes na água destinada ao consumo humano, prevê um valor paramétrico para o radão de 100 Bq/L (a Diretiva não é aplicável às águas minerais naturais).

### 3.7.3 Limites de dose

O Decreto-Lei n.º 222/2008 de 17 de Novembro, que transpõe a Diretiva 96/29/EURATOM do Conselho da União Europeia (revogada pela Diretiva 2013/59/EURATOM), fixa as normas de segurança de base relativas à proteção sanitária da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes, incluindo a realização de trabalhos que implique exposição a fontes de radiação natural, como é o caso dos estabelecimentos termais.

Assim, o limite de dose efetiva para os trabalhadores é de 100 mSv por um período de cinco anos consecutivos, desde que esse valor não ultrapasse uma dose efetiva máxima de 50 mSv num só ano. Contudo, a legislação nacional prevê ainda que nos casos em que a realização dos trabalhos nos estabelecimentos termais possa resultar numa dose efetiva anual superior a 1 mSv, estes trabalhadores devam ser considerados como trabalhadores expostos.

Quanto ao limite de dose efetiva para os membros do público é fixado em 1 mSv por ano.

O período de monitorização dos trabalhadores depende das características do trabalho a realizar. De acordo com Decreto-Lei n.º 222/2008, os trabalhadores podem ser classificados em duas categorias: A e B dependendo da dose de radiação a que estão sujeitos.

A categoria A é atribuída aos trabalhadores que são suscetíveis de receber uma dose efetiva superior a 6 mSv/ano ou uma dose equivalente superior a 3/10 de um dos limites anuais de exposição. Os profissionais que pertencem à categoria A devem ser monitorizados mensalmente. Todos os trabalhadores expostos que não estão incluídos na categoria A são classificados com a categoria B e a sua monitorização pode ser prolongada até aos 3 meses (a monitorização individual deve demonstrar que os trabalhadores estão corretamente classificados na categoria).

Segundo o Decreto-Lei n.º 167/2002, se a dose efetiva correspondente ao período de vigilância ultrapassar os 2 mSv ou se a dose equivalente recebida por um órgão ultrapassar os 10 mSv, o responsável do serviço de dosimetria deve comunicar o facto à DGS, o mais tardar 10 dias após a receção do dosímetro.

Contudo, no decorrer deste estudo foi publicado uma nova Diretiva, a 2013/59/EURATOM, que revoga a diretiva anterior (Diretiva 96/29/EURATOM) e que deverá ser transposta por todos os estados membros até fevereiro de 2018. O objetivo desta nova diretiva é melhorar a proteção dos



trabalhadores, nomeadamente os trabalhadores que estão expostos a radiações naturais no decorrer das suas atividades profissionais, como é o caso dos estabelecimentos termais.

Assim, é introduzido o conceito de “situação de exposição existente” tendo em conta as situações enumeradas no Anexo XVII da Diretiva 2013/59/EURATOM, designadamente exposição a fontes de radiação natural.

Por outro lado, no art.º 35º da Diretiva 2013/59/EURATOM é referido que sempre que a exposição dos trabalhadores seja suscetível de exceder a dose efetiva de 6 mSv/ano, esta deverá ser gerida como “uma situação de exposição planeada” em que se aplicam os limites de dose e restrição de dose (otimização da exposição) e caso a dose efetiva seja igual ou inferior a 6 mSv/ano, é exigido que a empresa mantenha a exposição dos trabalhadores sob observação.



## **4. PARTICIPANTES E MÉTODOS**

### **4.1 Implementação do estudo**

A fim de cumprir os objetivos da presente tese para a avaliar a exposição ao radão a que estão sujeitos os trabalhadores dos estabelecimentos termais, tendo em conta a contribuição do meio ambiente fora do meio ocupacional (habitações), foram realizadas medições de diversos parâmetros que possam ter influência na exposição e/ou permitir compreender alguns dos resultados obtidos.

A DGS apoiou este projeto de investigação desde o seu início, através de um ofício circular n.º 90/DSAO, datado de 08/07/2013, tendo facilitado desta forma a adesão dos estabelecimentos termais ao projeto de investigação.

Relativamente aos estabelecimentos termais, este estudo foi conduzido tendo em consideração o consentimento informado dos responsáveis dos estabelecimentos termais e o consentimento informado dos trabalhadores, garantindo a confidencialidade da informação recolhida.

### **4.2 O tamanho da amostra**

#### **4.2.1 Estabelecimentos termais**







Inicialmente todos os responsáveis dos estabelecimentos termais (38) foram contactados por ofício da DGS (anexo 1) e através de carta, solicitando “*a colaboração e participação neste estudo autorizando a realização de algumas medições de radão no vosso estabelecimento termal em pontos previamente definidos como estratégicos*”, tendo sido garantida “*a total confidencialidade dos dados, tanto do estabelecimento termal como dos trabalhadores envolvidos, na apresentação dos resultados da investigação*”.







De seguida efetuaram-se vários contactos (telefónico e por email) a todos os estabelecimentos termais a solicitar uma resposta ao pedido realizado através de ofício, tendo obtido um total de 15 autorizações.

Numa fase posterior, após o início das medições nos 15 estabelecimentos termais, foram feitos novos contactos aos restantes estabelecimentos termais que não tinham respondido (23), tendo-se obtido nesta fase mais 2 autorizações.

Assim, os estabelecimentos termais que participaram no estudo (17) encontram-se identificados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Identificação dos estabelecimentos termais que participaram no estudo

<b>Estabelecimento termal</b>		<b>Distrito</b>	<b>Concelho</b>	<b>Freguesia</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>
<b>Caldas da Felgueira</b>		Viseu	Nelas	Canas de Senhorim	N 40° 29' 18.98'' W 7° 51' 44.56''
<b>Caldas de Manteigas</b>		Guarda	Manteigas	S. Pedro	N 40° 23' 10.00'' W 7° 32' 43.00''
<b>Caldas da Rainha</b>		Leiria	Caldas da Rainha	N.ª Sr.ª Pópulo	N 39° 24' 12.19" W 9° 7' 58.04"
<b>Caldas da Saúde</b>		Porto	Santo Tirso	Areias	N 41° 22' 8.90" W 8° 28' 40.69"
<b>Caldas de S. Lourenço</b>		Bragança	Carrazeda de Ansiães	Pombal	N 41° 14' 32'' W 7° 18' 22''
<b>Caldas das Taipas</b>		Braga	Guimarães	Caldelas	N 41° 29' 16.08" W 8° 20' 33.54"

Estabelecimento termal		Distrito	Concelho	Freguesia	Coordenadas Geográficas
<b>Termas de Alcafache</b>		Viseu	Viseu	S. João Lourosa	N 40° 35' 42.32'' W 7° 52' 21.46''
<b>Termas de Caldelas</b>		Braga	Amares	Caldelas	N 41° 40' 5.73" W 8° 22' 11.42"
<b>Termas do Cró</b>		Guarda	Sabugal	Rapoula do Côa	N 40° 26' 34.55'' W 7° 02' 37.01''
<b>Termas de Entre-os-Rios</b>		Porto	Penafiel	Eja	N 41° 06' 06'' W 8° 17' 30''
<b>Termas de Longroiva</b>		Guarda	Meda	Longroiva	N 40° 57' 47.8'' W 7° 12' 45.99
<b>Termas do Luso</b>		Aveiro	Mealhada	Luso	N 40° 23' 06.25'' W 8° 22' 39.50''

<b>Estabelecimento termal</b>		<b>Distrito</b>	<b>Concelho</b>	<b>Freguesia</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>
<b>Termas de Moimenta</b>		Braga	Terras do Bouro	Moimenta	--
<b>Termas de Monção</b>		Viana do Castelo	Monção	Monção	N 42° 04' 44.37'' W 8° 28' 23.72''
<b>Termas de Sangemil</b>		Viseu	Tondela	Lajeosa do Dão	N 40° 31' 31.00'' W 7° 57' 58.00''
<b>Termas de S. Pedro do Sul</b>		Viseu	S. Pedro do Sul	Várzea	N 40° 44' 22.50'' W 8° 05' 30.58''
<b>Termas de Unhais da Serra</b>		Castelo Branco	Covilhã	Unhais da Serra	N 40° 15' 55.86'' W 7° 37' 27.42''

Os 17 estabelecimentos termais que participaram no estudo (44.7 % do total dos estabelecimentos termais em Portugal) encontram-se distribuídos pelos seguintes distritos: Viseu (4), Guarda (3), Braga (3), Porto (2), Castelo Branco (1), Viana do Castelo (1), Leiria (1), Aveiro (1) e Bragança (1).

O estudo decorreu ao longo de duas campanhas de recolha de dados, a primeira campanha realizou-se entre novembro de 2013 e junho de 2014, a segunda campanha decorreu entre julho de 2014 e setembro de 2015.

A primeira campanha decorreu sem grandes incidentes, com exceção da avaria do equipamento de medição da taxa de dose de radiação gama (GS3) nas Caldas da Saúde e Termas de Sangemil. A duração da segunda campanha foi ligeiramente superior uma vez que as avarias dos equipamentos (GS3) foram consecutivas e o tempo de reparação foi demorado. Os períodos de medição referentes a cada estabelecimento termal encontram-se representados na Figura 4.1.

No total, foram efetuadas 635 medições para as diferentes variáveis. Na Tabela 4.2 é apresentado o número total de dados recolhidos para cada variável, por estabelecimento termal, indicando a quantidade de dados validados (V) e de não validados (NV). O número de dados não validados (NV) correspondem à taxa de dose de radiação gama (8) e à colheita de água nas Caldas de S. Lourenço (3).

Tabela 4.2 – Número de dados recolhidos por estabelecimento termal

Número de dados recolhidos das variáveis medidas													
ET	CRnAr		CRnÁgua		CRnAr HabTb		DRG*		RGT		RGT HabTb		Total
	V	NV	V	NV	V	NV	V	NV	V	NV	V	NV	
CF	10	--	4	--	1	--	3	--	24	--	1	--	43
CM	6	--	5	--	1	--	2	--	25	--	1	--	40
CR	--	--	6	--	--	--	--	--	25	--	--	--	31
CS	11	--	5	--	1	--	3	3	33	--	1	--	57
CT	5	--	3	--	--	--	3	--	12	--	--	--	23
CSL	2	--	5	3	1	--	1	--	13	--	1	--	23
TA	6	--	4	--	1	--	1	--	26	--	1	--	39
TCD	5	--	5	--	1	--	1	--	28	--	1	--	41
TER	4	--	3	--	1	--	2	--	16	--	1	--	27
TLG	6	--	3	--	1	--	1	2	17	--	1	--	31
TMM	2	--	3	--	1	--	1	--	10	--	1	--	18
TM	4	--	3	--	--	--	1	--	29	--	--	--	37
TSPS	12	--	6	--	1	--	6	--	38	--	1	--	64
TS	8	--	7	--	1	--	1	2	19	--	1	--	39
TU	8	--	3	--	1	--	2	--	15	--	1	--	30
TC	9	--	3	--	1	--	3	1	15	--	1	--	33
TL	8	--	7	--	1	--	3	--	35	--	2	--	56
Total	106	0	75	3	14	0	34	8	380	0	15	0	635

ET – Estabelecimento Termal; CF – Caldas da Felgueira; CM – Caldas de Manteigas; CR – Caldas da Rainha; CS – Caldas da Saúde; CT – Caldas das Taipas; CSL – Caldas de S. Lourenço; TA – Termas de Alcafache; TCD – Termas de Caldelas; TER – Termas de Entre-os-Rios; TLG – Termas de Longroiva; TMM – Termas de Moimenta; TM – Termas de Monção; TSPS – Termas de S. Pedro do Sul; TS – Termas de Sangemil; TU – Termas de Unhais da Serra; TC – Termas do Cró; TL – Termas do Luso;

CRnAr – Concentração de radão no ar; CRnÁgua – Concentração de radão na água; CRnAr HabTb – Concentração de radão na habitação do trabalhador; DRG – Dose de radiação gama; RGT – Radiação gama total; RGT HabTa – Radiação gama total na habitação do trabalhador.

(\*) – Número de vezes em que foi utilizado o medidor da taxa de dose de radiação gama (GS3).

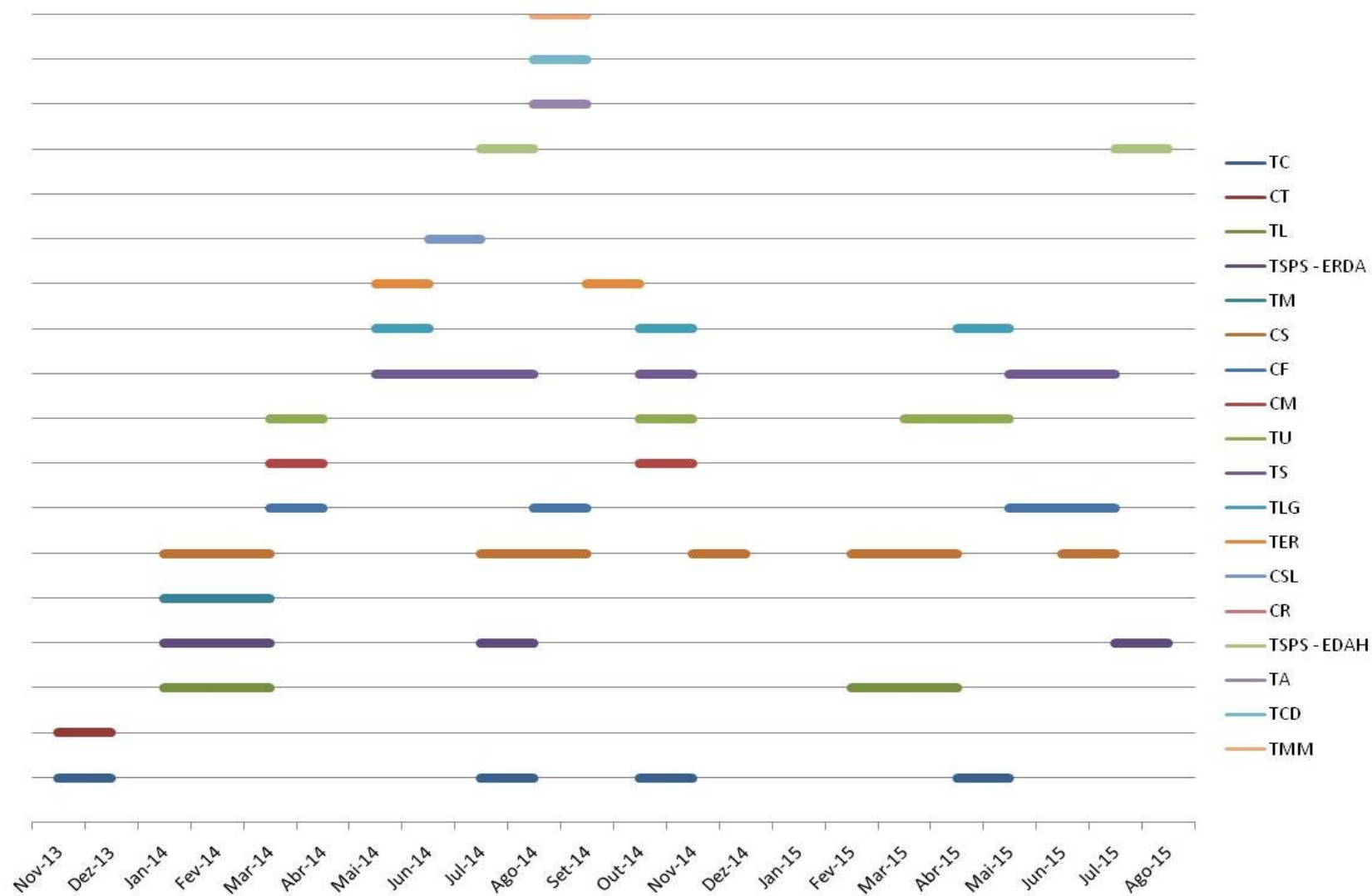


Figura 4.1 - Períodos de medição da 1ª e 2ª campanha de recolha de dados.



#### **4.2.1.1 Composição das águas minerais em estudo**

Tendo em consideração a secção anterior, a classificação das águas minerais naturais, segundo a sua composição, de cada estabelecimento termal em estudo, encontra-se representada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Classificação das águas minerais naturais dos estabelecimentos termais em estudo (Cortez et al., 2012).

<b>Estabelecimento termal</b>	<b>Temperatura de emergência</b>	<b>Acidez</b>	<b>Mineralização</b>	<b>Quimismo das águas</b>	<b>Radioatividade</b>
<b>Caldas da Felgueira</b>	Termais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica, fluoretada	Fortemente radioativas
<b>Caldas de Manteigas</b>	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada-fluoretada, sódica	Radioativas
<b>Caldas da Rainha</b>	Termais	Alcalina	Hipersalina	Sulfúrea, cloretada sódica	Não
<b>Caldas da Saúde</b>	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, cloretada, sódica	Não
<b>Caldas de S. Lourenço</b>	Mesotermais	Alcalina	<b>Sem informação</b>	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
<b>Caldas das Taipas</b>	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
<b>Termas de Alcafache</b>	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada sódica	Fortemente radioativas
<b>Termas de Caldelas</b>	Termais	Ácida	Hipossalina	Bicarbonatada cálcica	Não
<b>Termas do Cró</b>	Hipotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Radioativas
<b>Termas de Entre-os-Rios</b>	Hipotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Fortemente radioativas
<b>Termas de Longroiva</b>	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, Sódica	Radioativas
<b>Termas do Luso</b>	Mesotermais	Ácida	Hipossalina	Cloretada sódica	Fortemente radioativas
<b>Termas de Moimenta</b>	Hipotermais	Alcalina	<b>Sem informação</b>	Sem informação	Não
<b>Termas de Monção</b>	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
<b>Termas de Sangemil</b>	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Fortemente radioativas
<b>Termas de S. Pedro do Sul</b>	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Radioativas
<b>Termas de Unhais da Serra</b>	Termais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, Bicarbonatada sódica	Fortemente radioativas

As águas minerais naturais em estudo apresentam uma variada classificação quanto à temperatura de emergência, sendo maioritariamente alcalinas, sulfúreas, bicarbonatadas-sódicas e algumas classificadas de radioativas a fortemente radioativas.

#### **4.2.1.2 Enquadramento geológico dos estabelecimentos termais em estudo**

Na Tabela 4.4 encontra-se representado um resumo do enquadramento geológico dos estabelecimentos termais em estudo.

Tabela 4.4 - Estrutura geológica dos estabelecimentos termais em estudo

<b>Estabelecimento termal</b>	<b>Carta Geológica de Portugal (1:50 000)</b>	<b>Informação geológica</b>	<b>Estrutura do Maciço/Tectónica</b>
<b>Caldas da Felgueira</b>	17C - Santa Comba Dão	Região maioritariamente com substrato granítico	Sem informação disponível
<b>Caldas de Manteigas</b>	20B - Covilhã	Região maioritariamente com substrato granítico	Falha
<b>Caldas da Rainha</b>	26D - Caldas da Rainha	Sedimentos arenosos do vale tifónico e formações calcárias e margosas	Limite tectónico do vale tifónico das Caldas da Rainha, orientação NNE-SSW
<b>Caldas da Saúde</b>	9B - Guimarães	Região maioritariamente com substrato granítico	Interseção de falha/fratura NE-SW com falha/fratura NNW-SSE
<b>Caldas de S. Lourenço</b>	11C - Torre de Moncorvo	Região com substrato granítico e xistente	Dependência da fraturação do maciço de direção dominante NE-SW
<b>Caldas das Taipas</b>	5D - Braga	Região com substrato granítico	Interseção de falha/fratura NE-SW com falha/fratura ENE-WSW
<b>Termas de Alcafache</b>	17A - Viseu	Região com substrato granítico e xistente	Dependência da falha do Rio Dão de orientação NE-SW, em nós tectónicos com fraturação N 80°W
<b>Termas de Caldelas</b>	5B - Ponte da Barca	Região com substrato granítico	Filão termal em falha com direção N 78° E

<b>Estabelecimento termal</b>	<b>Carta Geológica de Portugal (1:50 000)</b>	<b>Informação geológica</b>	<b>Estrutura do Maciço/Tectónica</b>
<b>Termas do Cró</b>	18C - Guarda	Região maioritariamente com substrato granítico	No mapa geológico publicado não estão indicadas quaisquer falhas de importância regional
<b>Termas de Entre-os-Rios</b>	13B - Castelo de Paiva	Região maioritariamente com substrato granítico	Falha/fratura NE -SW que condiciona o troço final do rio Tâmega
<b>Termas de Longroiva</b>	15A - Vila Nova de Foz Côa	Região maioritariamente com substrato granítico	Ramo da Falha da Vilariça - Manteigas
<b>Termas do Luso</b>	16B	Região de rochas metassedimentares	Interseção de falhas NE-SW com a estrutura geral do Sinclinal do Buçaco com direção NW-SE
<b>Termas de Moimenta</b>	5B - Ponte da Barca	Região maioritariamente com substrato granítico	Cruzamento de filão de rocha básica com direção N 80° E com falha provável de direção NW-SE
<b>Termas de Monção</b>	1B - Monção	Região com substrato granítico e xistente	Dependência da falha do rio Minho de orientação geral E-W
<b>Termas de Sangemil</b>	17C - Santa Comba Dão	Região maioritariamente com substrato granítico	Falha de direção NE-SW que condiciona o traçado do rio Dão
<b>Termas de S. Pedro do Sul</b>	17A - Viseu	Região com substrato granítico e xistente	Dependência da falha Penacova-Régua-Verin de direção N30-40E, em nós tectónicos com fraturação N70W
<b>Termas de Unhais da Serra</b>	20B - Covilhã	Região maioritariamente com substrato granítico	Falha Manteigas - Vilariça que condiciona a direção deste troço do vale do Zêzere

Relativamente à litologia, nomeadamente quanto à informação química das rochas, apenas a carta geológica 17A – Viseu (Termas de Alcafache e Termas de S. Pedro do Sul) apresenta estes dados. No caso das Termas de Alcafache os valores em ppm de K, Th e U são:  $40800 \pm 1260$ ,  $20.4 \pm 1.2$  e  $7.4 \pm 1.2$ , respetivamente. Para as Termas de S. Pedro do Sul os valores de K, Th e U são:  $46600 \pm 1530$ ,  $118 \pm 7.1$  e  $9.4 \pm 1.0$  ppm, respetivamente.

Em termos hidrogeológicos, e relativamente ao parâmetro da permeabilidade, as cartas geológicas referem que todos os estabelecimentos termais possuem uma permeabilidade secundária do tipo fissural ao longo do sistema de falhas e fraturas do maciço, com exceção da carta geológica 26 D – Caldas da Rainha (sem informação disponível).

Quanto ao potencial radiogénico, nomeadamente informação das concentrações de elementos radiogénicos, como o U e Th, apenas a carta geológica 17 A – Viseu possui esta informação. No caso das Termas de Alcafache as concentrações de U e Th são  $7.4 \pm 1.2$  e  $20.4 \pm 1.2$  ppm, respetivamente. Nas Termas de S. Pedro do Sul as concentrações de U e Th são  $8.5 \pm 1.4$  e  $12.1 \pm 3.9$  ppm, repetivamente.

Esta mesma carta geológica refere ainda que o potencial de radão no ar interior é elevado para as Termas de Alcafache e Termas de S. Pedro do Sul.

#### 4.2.2 Indicações terapêuticas dos estabelecimentos termais

Tendo em consideração apenas a sua mineralização e a respetiva composição físico-química, e não considerando as técnicas termais e complementares disponíveis em cada estabelecimento termal para as águas minerais naturais, as principais indicações terapêuticas podem esquematizar-se da seguinte forma (Tabela 4.5):

Tabela 4.5 - Indicações terapêuticas dos estabelecimentos termais

Águas	Indicação terapêutica							
	Aparelho digestivo	Aparelho Nefro-Urinário	Aparelho respiratório	Dermatologia	Doenças Ginecológicas	Doenças Metabólico-Endócrinas	Doenças Reumáticas e Músculo Esqueléticas	Doenças do Sangue - Anemias
<b>Cloretadas</b>	✓		✓	✓	✓		✓	
<b>Bicarbonatadas</b>	✓	✓	✓			✓		
<b>Sulfatadas</b>	✓	✓				✓		
<b>Sulfúreas</b>			✓	✓	✓		✓	
<b>Hipossalinas</b>		✓		✓	✓	✓		✓

### 4.2.3 Principais técnicas termais

A lei define técnicas termais como “o conjunto de meios que fazem uso de uma água mineral natural” e dos seus derivados “coadjuvados ou não por técnicas complementares, para fins de prevenção, terapêutica, reabilitação e bem-estar”.

Distinguem-se assim, as técnicas complementares definidas como “as técnicas utilizadas para a promoção da saúde e prevenção da doença, a terapêutica, a reabilitação da saúde e a melhoria da qualidade de vida, sem recurso à água mineral natural e que contribuem para o aumento da eficácia dos serviços prestados no estabelecimento termal”, assim como os serviços de bem-estar termal, ligados à estética, beleza e relaxamento, embora estes sejam “susceptíveis de comportar a aplicação de técnicas termais, com possibilidade de utilização de água mineral natural”.

As técnicas termais compreendem técnicas gerais (de administração interna ou externa por aplicação externa) e técnicas especiais (que visam obter um efeito local – resultante de administração interna e externa ou de aplicação externa).

Nas técnicas de administração interna, utilizam-se especificamente os efeitos dependentes da composição físico-química das águas naturais. Nelas poderão incluir-se: i) ingestão oral de água ou hidropinias; ii) injeção de água mineral natural; iii) administração de água por via colo-retal.

Nas técnicas de aplicação externa, para além das propriedades específicas de cada água mineral natural, aproveitam-se também os factores hidromecânicos e hidrotérmicos comuns a toda a hidroterapia. Nelas poderão incluir-se: i) banhos; ii) duches; iii) vapores; iv) duches-massagens; v) pelóides e vi) diversas técnicas para aplicação nas vias respiratórias.

### 4.2.4 Oferta e procura dos estabelecimentos termais

Em 2013 estavam em funcionamento em Portugal 41 estabelecimentos termais, mais 4 do que em 2012. A região Centro concentrou o maior número de estabelecimentos termais (20) que, face ao total do País, se traduziu numa quota de 49 % (Figura 4.2).

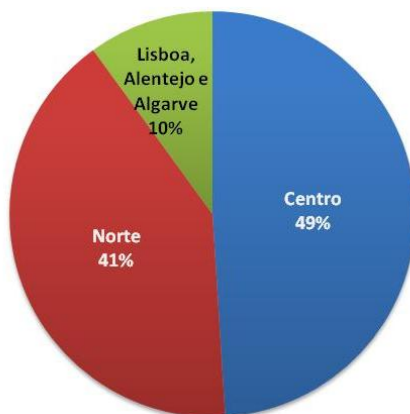


Figura 4.2 - Estabelecimentos termais por NUTS II em 2013 (DGEG, 2013).

A região Norte é a segunda com mais estabelecimentos (17), ou seja, 41 % do total de estabelecimentos do País.

As regiões de Lisboa, Alentejo e Algarve concentraram, em conjunto, 10 % da oferta nacional (4 estabelecimentos).

A vertente do termalismo de bem-estar, com 54 % de representação (13 % em 2004), continuou a ser a mais procurada pelos clientes das termas, em 2013. Com 50.6 mil utentes, este segmento apresentou, contudo, um decréscimo homólogo de 2.8 % (- 1500 termalistas) (Figura 4.3).

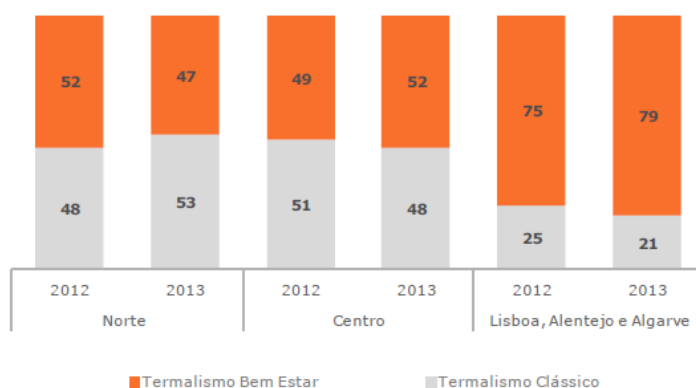


Figura 4.3 - Motivação da procura, por NUTS II (%) (ATP, 2013).

O termalismo clássico, com 43.3 mil utentes (46 % face ao total), decresceu também face a 2012 (- 8.2 %, equivalente a menos 3.8 mil clientes). Esta evolução representou uma quebra de 1.4 p.p. na quota deste segmento, face ao total.

A predominância atingida pela vertente do termalismo de bem-estar em Portugal ficou a dever-se aos acréscimos verificados nas regiões Centro (passou de 49 % de representação em 2012 para 52 % em 2013) e em Lisboa, Alentejo e Algarve (75 % em 2012 evoluiu para 79 % em 2013).

Na região Norte aumentou o predomínio da vertente do termalismo clássico (48 % em 2012 subiu para 53 % em 2013).

#### 4.2.5 Caracterização dos trabalhadores nos estabelecimentos termais

Em 37 estabelecimentos termais que estavam em funcionamento em 2011, constavam 910 indivíduos (- 52 que em 2010), sendo operários (538), técnico/administrativos (198) e médicos (78) os grupos profissionais com maior representação no total (59 %, 22 % e 9 %, respetivamente). Face a 2010 incidiram nos grupos já descritos as reduções mais significativas (- 66 pessoas), ao contrário dos dirigentes e chefias que aumentaram (+ 24 indivíduos) (Figura 4.4) (TP, 2011).



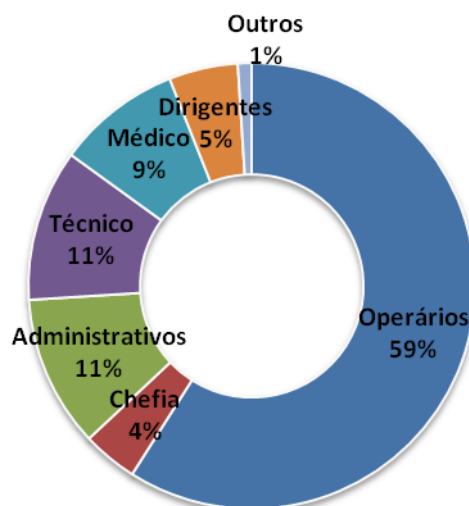


Figura 4.4 - Pessoal ao serviço nos estabelecimentos termais em 2011 (DGEG, 2011).

#### 4.2.6 Trabalhadores

Na primeira visita efetuada aos estabelecimentos termais foram distribuídos questionários (anexo 2) a todos os trabalhadores, tendo sido explicado os objetivos do estudo, os procedimentos adotados e referindo que a informação recolhida nos questionários seria descaracterizada. O preenchimento dos questionários foi da responsabilidade dos próprios.

A sua devolução foi efetuada aquando do envio do equipamento para a FEUP, no final das medições da concentração de radão no ar interior e da taxa de dose de radiação gama.

#### 4.2.7 Habitações

Após o preenchimento do “*Questionário do trabalhador*” foi efetuada a seleção de um trabalhador por estabelecimento termal (só para os 15 estabelecimentos termais que aderiam ao estudo na primeira campanha).

Os critérios para a seleção do trabalhador por estabelecimento termal são: i) antiguidade no posto de trabalho; ii) proximidade da habitação com o estabelecimento termal; iii) local de trabalho (preferencialmente na balneoterapia); iv) número de horas de permanência na habitação e v) antecedentes familiares relevantes.

Nas habitações foi preenchido o questionário denominado “*Questionário da habitação*” (anexo 3).

### 4.3 Recolha de dados

#### 4.3.1 Estabelecimentos termais

Na primeira deslocação aos estabelecimentos termais foi preenchido o “*Questionário do estabelecimento termal*” (anexo 4). Este encontra-se dividido em 3 secções: i) identificação do estabelecimento termal; ii) matéria-prima e iii) instalações e equipamento.

As principais variáveis extraídas do questionário, atendendo aos objetivos da tese, são apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Variáveis do “Questionário do estabelecimento termal”

Secção	Questão
Identificação	<i>Época termal</i> <i>N.º total de trabalhadores</i> <i>Antiguidade dos trabalhadores</i> <i>Rotatividade dos trabalhadores</i> <i>N.º termalistas/ano</i> <i>Indicações terapêuticas</i>
Matéria-prima	<i>N.º captações</i>
Instalações e equipamento	<i>Tipo de construção</i>
Avaliação de riscos	<i>Avaliação de riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores</i> <i>Já foi feito algum estudo/medição de radão</i>
Pessoal	<i>Os trabalhadores recebem formação adequada no domínio da segurança e saúde no trabalho, tendo em conta as respetivas funções e o posto de trabalho</i>
Segurança e manutenção das instalações	<i>Possui plano de controlo radiológico das instalações</i>
Condições gerais do edifício	<i>Todos os locais dispõem de ventilação diretamente para o exterior</i> <i>O estabelecimento termal dispõe de mais que um piso</i>
Abastecimento de água	<i>Existência de rede pública de abastecimento de água</i>
Climatização	<i>Existência de equipamentos de climatização, que permitam o aquecimento e/ou arrefecimento</i>
Gabinetes médicos	<i>Existência de iluminação e ventilação naturais</i>
Locais de tratamento termal	<i>Existe piscina</i>

### 4.3.2 Trabalhadores

O “*Questionário do trabalhador*” encontra-se dividido em quatro secções: i) identificação; ii) posto de trabalho; iii) hábitos de vida e iv) historial clínico.

A adesão ao preenchimento dos questionários, por parte dos trabalhadores de cada estabelecimento termal, foi de forma voluntária. As variáveis a ter em consideração nos objetivos do estudo são as que estão descritas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Variáveis do “Questionário do trabalhador”

<b>Secção</b>	<b>Questão</b>
Identificação	<i>Morada</i> <i>Profissão</i> <i>Idade</i>
Posto de trabalho	
Identificação	<i>Identificação do posto de trabalho</i> <i>Carga horária</i>
Posto de trabalho	<i>Existência de ventilação</i> <i>Permanência no mesmo posto de trabalho</i> <i>Uso de equipamento de proteção individual</i> <i>Uso de dosímetro individual</i> <i>Antiguidade no posto de trabalho</i> <i>Pausas no trabalho (10 minutos)</i>
Hábitos de vida	<i>Consumo de álcool</i> <i>Consumo de tabaco</i>
Historial clínico	<i>Problemas médicos crónicos</i> <i>Antecedentes familiares relevantes</i> <i>Toma de medicação diária</i>

### 4.3.3 Habitações

O “*Questionário da habitação*” encontra-se dividido em três secções: i) identificação; ii) caracterização da habitação e iii) hábito dos moradores.

As variáveis a ter em consideração nos objetivos do estudo são as que estão descritas na tabela seguinte (Tabela 4.8):

Tabela 4.8 - Variáveis do “Questionário da habitação”

<b>Secção</b>	<b>Questão</b>
Identificação	<i>Morada</i> <i>Local de trabalho</i> <i>N.º habitantes</i> <i>Tipo de habitação</i>
<b>Caracterização da habitação</b>	
Construção	<i>Tipo de solo</i> <i>Tipo de construção</i> <i>Materiais de construção predominantes</i> <i>Estado do pavimento</i> <i>Estado da canalização</i> <i>Existência de cave</i>
Pintura	<i>Estado da pintura</i>
Abastecimento de água	<i>Tipo de abastecimento de água</i>
Ventilação	<i>Tipo de ventilação</i> <i>Existência de ar condicionado</i>
Hábitos de vida	<i>Abertura das janelas</i> <i>Consumo de tabaco</i> <i>Consumo de álcool</i> <i>N.º de horas de permanência na habitação</i>

## 4.4 Metodologia

Na Tabela 4.9 encontram-se descritas todas as variáveis e respetivas abreviaturas, comuns a todos os estabelecimentos termais, pelas quais serão designadas nos capítulos seguintes.

Tabela 4.9 - Identificação das variáveis medidas e respetivas abreviaturas

Designação da variável	Abreviatura
Concentração de radão no ar	CRnAr
Concentração de radão na água	CRnÁgua
Concentração de radão na habitação do trabalhador	CRnAr HabTb
Taxa de dose de radiação gama	DRG
Radiação gama total	RGT
Radiação gama total na habitação do trabalhador	RGT HabTb

### 4.4.1 Concentração de radão na água

A avaliação da concentração de radão na água foi realizada nos estabelecimentos termais em diversos locais: buvetes, furos, captações, área de vapores, duche jato, duche *vichy*, ORL, piscina termal e zona técnica.

A atividade dos radionuclídeos foi medida por meio de técnicas de contagem de cintilação líquida (LSC) usando um espectrómetro de ultra-baixo nível (Quantulus 1220) no Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220

(<http://www.dct.uc.pt>).

Para realizar as medições de radão, as amostras de água foram recolhidas com uma seringa em cada ponto de água (10 ml) e cuidadosamente vertida para frascos de vidro com 20 ml de volume, onde previamente foram adicionados 10 ml de *cocktail* de cintilação imiscível em água (Betaplate, da

Perkin – Elmer ®) (Figura 4.6). O frasco tem uma abertura selada e mecanismos de segurança para evitar vazamento de gás durante o transporte.



Figura 4.6 - Amostra de água com cocktail de cintilação.

No mesmo dia da recolha, as amostras foram enviadas para Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra onde foram analisadas relativamente a alguns parâmetros radiológicos.

Para a medição do gás radão foi utilizado o método de dupla-fase (ASTM, 1990). As incertezas dependem da atividade mas, em geral, foram inferiores a 15 %, na gama de valores de medição. Para uma descrição mais detalhada sobre as técnicas LSC ver Gonçalves e Pereira, 2007. A eficiência do método foi avaliada através da medição de várias soluções padrão e através da participação em exercícios de inter-comparação.

#### **4.4.2 Concentração de radão no ar interior**

A concentração de radão no ar interior foi avaliada em diversos locais de cada estabelecimento termal (área de vapores, duche *vichy*, ORL e piscina termal) e na habitação dos trabalhadores selecionados (salas de estar).

O radão é radioativo assim como os seus descendentes e portanto, a maior parte dos métodos de deteção deste elemento tem como princípio esta característica, através da análise de emissão de partículas alfa. A concentração de radão é medida pela avaliação do número de colisões das partículas com o detetor, através da contagem das áreas danificadas pelo impacto das partículas alfa resultantes do decaimento do radão. Os detetores frequentemente utilizados são os detetores de traços, chamados SSNTD's (*Solid State Nuclear Track Detectors*) como os detetores passivos CR-39.

Na avaliação da concentração de radão no ar interior foram utilizados os detetores CR-39, pequenos dispositivos inseridos dentro de câmaras de difusão, (4.5 cm de altura, de 2 cm de diâmetro) por períodos de exposição entre 25 e 45 dias (Figura 4.7). Este detetor é composto por um pequeno pedaço de policarbonato, sensível às faixas de partículas altamente ionizantes, tais como as partículas alfa. Os detetores CR-39 foram colocados em cada local a cerca de 1 metro de altura do solo. Após o período de exposição, os detetores foram recuperados e enviados para o Laboratório Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra para análise.



Figura 4.7 – Detetores passivos CR-39.

Os impactos alfa ficam gravados sob a forma de traços que após tratamento químico realizado em laboratório, ficam visíveis sob observação ao microscópio ótico. A quantificação da espessura dos traços registados e o tempo de exposição permitem estimar a concentração média de radão a que os detetores estiveram expostos (Coelho, 2006).

Após o tempo de exposição, o processo de revelação dos detetores é feito com ataque químico usando uma solução a 25 % de NaOH a 90 °C, durante 270 minutos. O número de impactos registado numa área de 1 cm<sup>2</sup> em cada detetor foi contado por um leitor automático composto por um microscópio ótico associado a ferramentas informáticas com capacidade de análise de imagem. O parâmetro determinado é a densidade dos traços a que foi, em cada caso, subtraída a densidade do fundo obtida a partir de detetores não expostos. A concentração média do gás radão referente ao período de exposição foi estimada a partir da densidade de traços e tendo ainda em conta um fator de calibração obtido pela exposição de detetores do mesmo lote numa câmara de calibração certificada.

O Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra participa regularmente em exercícios de comparação com outros laboratórios, a fim de estimar a incerteza estatística (erro analítico de menos de 10 % de o valor obtido). O limite de deteção, utilizando o procedimento descrito é de 5 Bq/m<sup>3</sup>.

#### 4.4.3 Taxa de dose de radiação gama

A medição da taxa de dose de radiação gama foi realizada em dois períodos distintos para os estabelecimentos termais que aderiram na primeira fase e num só período para os restantes estabelecimentos termais, que se juntaram ao estudo posteriormente.

Para o levantamento radiométrico nos estabelecimentos termais foi utilizado o equipamento GAMMA SCOUT® (GS3), instrumento de medição calibrado para medir a radiação  $\gamma$ ,  $\alpha + \beta$ , e  $\alpha + \beta + \gamma$ . Neste estudo foram medidas as doses de radiação gama ( $\gamma$ ) em  $\mu\text{Sv/h}$  (Figura 4.7).



Figura 4.8 - Detetor de radiação gama GAMMA SCOUT®.

O Gamma-Scout é um contador Geiger com uma ampla faixa de medição e pode ser usado para efetuar medidas instantâneas ou integradas no tempo. Os valores da dose de radiação gama podem ser armazenados na memória do equipamento, necessitando apenas de um cabo para descarregar os dados para um computador.

Este dispositivo foi utilizado para a medição da taxa de dose de radiação gama, com leitura horária e por um período de tempo entre 25 e 45 dias.

As medições da taxa de dose de radiação gama ocorreram quase sempre em simultâneo com as medições da concentração de radão no ar interior.

#### 4.4.4 Radiação gama total

Para a medição da radiação gama total foi utilizado um cintilómetro portátil SPP2 de marca “SAPHYMO” (Figura 4.8), disponibilizado pelo laboratório de Radioatividade Ambiental Departamento de Engenharia de Minas da FEUP. Este equipamento tem uma sonda externa, com um detetor de iodeto de sódio, que deteta e quantifica a radiação gama emitida pelo solo ou rocha. Uma das vantagens é fazer leituras a alguma distância do instrumento, possibilitando o alcance a locais de difícil acesso e/ou risco; outra das vantagens do equipamento é a sua robustez, mesmo à água. O valor de cada medição é expressa em choques por segundo (c.p.s. ou *counts per second*) que pode ser convertida em taxa de dose (mR/h) através da curva de calibração do equipamento.



Figura 4.9 - Cintilómetro portátil.

O aparelho tem 5 escalas de leitura (150, 500, 1.500, 5.000 e 15.000 c.p.s), que são seleccionadas, caso a caso, conforme a gama de valores a medir. A leitura máxima admissível do SPP2 é 15 000 c.p.s.. Normalmente iniciam-se as medições na escala mais baixa (150 c.p.s), passando-se às

escalas superiores para valores sucessivamente mais altos. Um sinal sonoro, que é regulável manualmente para o fundo natural, avisa o operador da existência de uma anomalia. No trabalho de campo levado a cabo neste estudo, a escala mais utilizada foi a de 500 c.p.s. O SPP2 é calibrado a intervalos de tempo não regulares e verificado com determinada periodicidade, utilizando um padrão de radioatividade conhecida.

A medição da radiação gama total foi efetuada com o SPP2, quer no estabelecimento termal quer na habitação do trabalhador selecionado, com o objetivo de detetar anomalias que, eventualmente, exigissem outro procedimento na recolha de dados.

## 4.5 Análise estatística

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos utilizados no tratamento estatístico aplicado às diferentes variáveis em estudo. Sobre estas variáveis, aplicaram-se várias técnicas no âmbito da estatística univariada, conforme ilustra a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Quadro resumo dos tratamentos estatísticos aplicados às variáveis em estudo

Variável	Período de análise	Tratamentos estatísticos efetuados
Concentração de radão na água	Novembro de 2013	Estatística descritiva
	a	
Concentração de radão no ar interior	Julho de 2015	Estatística descritiva
	Novembro de 2013	
Taxa de dose de radiação gama	a	Estatísticos básicos
	Setembro de 2015	
Radiação gama total	Novembro de 2013	Técnicas de auto-correlação
	a	
Questionários	Setembro de 2015	Teste qui-quadrado
	Novembro de 2013	
Questionários	Setembro de 2015	Teste Kolmogorov-Smirnov
	Novembro de 2013	
Questionários	Setembro de 2015	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney
	Novembro de 2013	
Questionários	Setembro de 2015	Estatística descritiva
	Novembro de 2013	
Questionários	Setembro de 2015	Estatística descritiva
	Novembro de 2013	

A análise e gestão dos dados foi aplicada nas duas campanhas. Na primeira campanha foi construída uma base de dados, em folha de cálculo, com a informação das medições realizadas nos estabelecimentos termais (concentração de radão na água, concentração de radão no ar interior, taxa de dose de radiação gama e radiação gama total).

Relativamente aos dados da taxa de dose de radiação gama da primeira campanha foram utilizados três testes para a normalidade aplicados aos dados obtidos para esta variável: teste do qui-quadrado,



teste do Kolmogorov-Smirnov e teste de Wilcoxon-Mann-Whitney. Além disso, a média, o desvio padrão, o mínimo e o máximo também foram apresentados. Numa primeira fase pretendeu-se analisar se os dados desta variável apresentavam um padrão, para posteriormente ser efetuado um outro tipo de abordagem, nomeadamente a construção de um modelo, que fosse aplicável a todos os estabelecimentos termais portugueses e que explicasse o comportamento desta variável prevendo o risco de exposição ocupacional ao radão para os trabalhadores dos estabelecimentos termais.

Como não foi possível encontrar um padrão para os valores da taxa de dose de radiação gama dentro de cada estabelecimento termal, como por exemplo, para os valores da taxa de dose de radiação gama da piscina termal e da ORL, ou por local/distrito, ou por época termal (primavera/verão e outono/inverno), optou-se por realizar uma análise por estabelecimento termal.

Assim, na segunda campanha de medições, a análise estatística dos resultados obtidos para a taxa de dose de radiação gama foi realizada utilizando o programa estatístico *Statistica 12*, para uma análise exploratória. Foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov, sendo que a conclusão (o ajuste a uma distribuição conhecida) é dada pela comparação do *p-value* com o alfa adotado, em que se o *p-value* (valor-p ou valor de prova) for maior do que o alfa não se pode rejeitar  $H_0$ , sendo  $H_0$  a hipótese nula que postula que os dados seguem uma distribuição conhecida. Este *p-value* pode ser interpretado como uma medida de concordância entre os dados e  $H_0$ : quanto menor for o *p-value*, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Um valor de “*p-value*” inferior a 0.05 foi considerado estatisticamente significativo.

Foi ainda aplicada a função de autocorrelação às medições de taxa de dose de radiação gama, para uma análise exploratória da dependência temporal dos registos, tentando analisar em que medida o valor registado numa determinada hora se relaciona com o valor registado nas horas seguintes, bem como detetar uma eventual periodicidade ou ciclicidade nos valores obtidos nesta variável.

A análise de correlação foi também efetuada para determinar o grau de associação entre as diferentes variáveis: concentração de radão no ar, concentração de radão na água, dose de radiação gama e radiação gama total, que foram combinadas entre si.

Relativamente aos resultados dos questionários dos trabalhadores, dos estabelecimentos termais e das habitações dos trabalhadores foi efetuada uma análise qualitativa e quantitativa.

Na análise qualitativa, pretendeu-se descrever a amostra populacional, relacionar e interpretar a informação dos inquéritos com os resultados obtidos pela medição das variáveis em estudo. Na análise quantitativa, pretendeu-se quantificar a informação recolhida nos questionários através da estatística descritiva, relacionar e interpretar também, cruzando a informação dos questionários com os resultados obtidos pela medição das variáveis em estudo.

#### **4.5.1 Análise da correlação**

Foi feita uma análise da associação entre as diferentes variáveis quantitativas consideradas neste estudo através da matriz de correlações. A matriz de correlações é uma matriz bi-dimensional que apresenta a correlação entre as variáveis permitindo identificar todas as variáveis envolvidas no estudo que se relacionam entre si. Em termos práticos é uma medida numérica da força da relação

entre duas variáveis que representam dados quantitativos, ou seja, uma medida da intensidade da relação linear entre os valores quantitativos emparelhados  $x$  e  $y$  numa amostra.

A partir dos dados amostrais emparelhados (dados bivariados) estima-se o valor de  $r$  para concluir se há ou não relação entre duas variáveis. O valor de  $r$  deve estar sempre entre -1 e 1 mas se estiver muito próximo de 0 então não há correlação linear significativa. Se estiver próximo de -1 ou 1, concluímos que há uma relação linear significativa entre  $x$  e  $y$ .

As variáveis consideradas neste estudo dizem respeito à concentração de radão na água, à concentração de radão no ar, à radiação gama total e à taxa de dose de radiação gama. Os dados usados na análise de coeficiente de correlação incluem todas as medições das diversas variáveis realizadas no mesmo local (CRnAr, CRnÁgua, DRG, RDT). Na Tabela 4.11, apresenta-se a matriz das correlações entre as diferentes variáveis.

Tabela 4.11 – Matriz de correlação entre as diferentes variáveis estudadas

Variáveis	CRnAr	CRnÁgua	DGT	RGT
CRnAr	1.00	<b>0.85</b>	- 0.16	- 0.01
CRnÁgua	<b>0.85</b>	1.00	- 0.20	- 0.40
DGT	- 0.16	- 0.20	1.00	0.01
RGT	- 0.01	- 0.40	0.01	1.00

Pela análise da tabela, observa-se que as únicas variáveis correlacionadas (fortemente correlacionadas) são a concentração de radão no ar interior e a concentração de radão na água, tal como observado nos estudos realizados por Pereira et al. (2001). Espera-se assim, que a valores elevados da concentração de radão na água correspondam valores elevados da concentração de radão no ar interior e vice-versa.

Por outro lado, não foi possível verificar uma correlação entre as restantes variáveis.

## **5. RESULTADOS**

Participaram no estudo 17 estabelecimentos termais, o que representa 37 % dos estabelecimentos termais existentes em Portugal, sendo que para um destes estabelecimentos termais apenas foram efetuadas medições da concentração de radão na água, visto se encontrar encerrado ao público.

O estudo realizou-se em duas campanhas para recolha de dados, na primeira campanha aderiram os seguintes estabelecimentos termais: ET1, ET2, ET3, ET4, ET5, ET8, ET9, ET10, ET11, ET12, ET13, ET14, ET15, ET16 e ET17, tendo decorrido entre novembro de 2013 e junho de 2014. Na segunda campanha, que decorreu entre julho de 2014 e setembro de 2015, juntaram-se ao estudo os estabelecimentos termais ET6 e ET7.

O período de funcionamento dos estabelecimentos termais é variável, sendo que alguns encontram-se abertos todo o ano e outros funcionam sazonalmente (Tabela 5.1). Apenas 5 de um total de 18 edifícios em estudo encontram-se abertos anualmente. O estabelecimento termal ET3 é o único que possui 2 edifícios, o edifício E1 que se encontra em funcionamento durante todo o ano e o edifício E2 em funcionamento apenas durante o período de primavera/verão, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Período de funcionamento das instalações dos estabelecimentos termais que participaram no estudo.

Identificação do ET	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
ET1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET3-E1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET3-E2	--	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET4	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET5	--	--	--	--	--	--	x	x	x	--	--	--
ET6	--	--	--	x	x	x	x	x	x	x	--	--
ET7	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET8	--	--	--	--	--	--	x	x	x	--	--	--
ET9	--	--	--	--	--	--	x	x	x	x	x	--
ET10	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET11	--	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET13	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET14	--	--	--	x	x	x	x	x	x	x	x	--
ET15	--	--	--	--	--	--	x	x	x	x	x	x
ET16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ET17 - encerrado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

O número total de trabalhadores por estabelecimento termal encontra-se representado na Figura 5.1. O estabelecimento termal ET17 não é mencionado por se ter encontrado encerrado ao público durante o período em que decorreu este estudo.

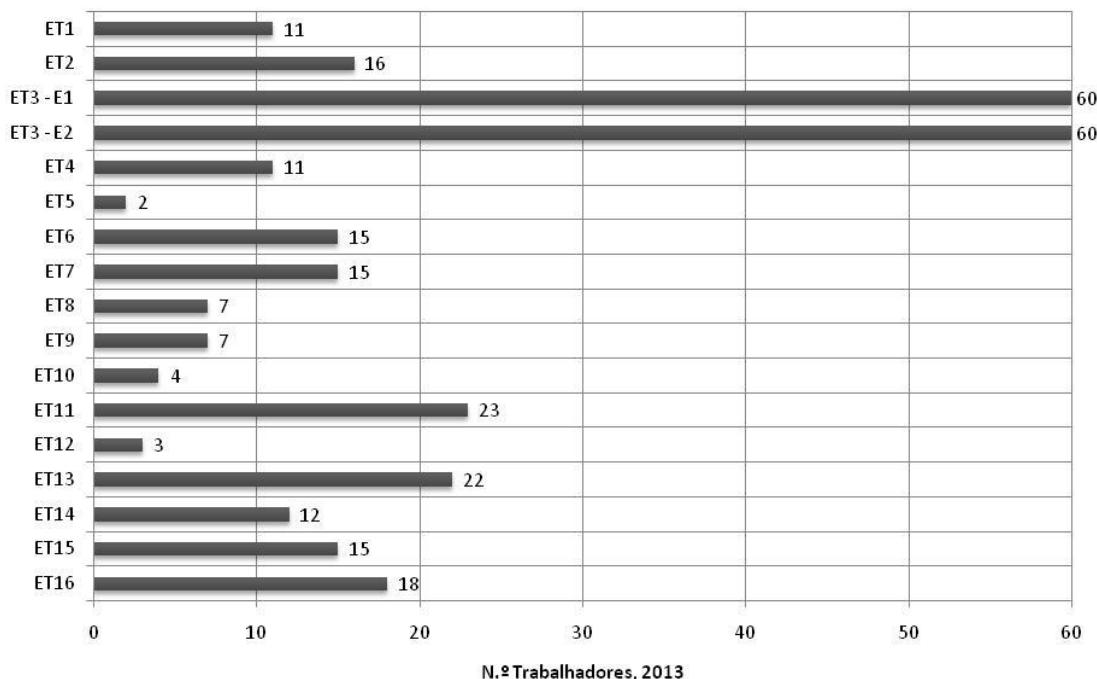


Figura 5.1 - N.º total de trabalhadores por estabelecimento termal em 2013.

O número de trabalhadores dos 16 estabelecimentos termais em estudo corresponde a um total de 301 trabalhadores, sendo que o estabelecimento ET3 é o que apresenta maior número: 120 trabalhadores nos dois edifícios, seguido pelos ET7 e ET3, com 23 e 22 trabalhadores, respetivamente.

Em todos os estabelecimentos termais foram realizadas medições para determinar a taxa de dose de radiação gama, a radiação gama total, a concentração de radão na água e a concentração de radão no ar interior. Na habitação do trabalhador selecionado de cada estabelecimento termal, as medições efetuadas referem-se à concentração de radão no ar interior e à radiação gama total.

Foram realizadas duas campanhas para recolha de dados. No caso dos estabelecimentos termais que participaram na 1ª campanha, as medições da concentração de radão no ar e taxa de dose de radiação gama, realizaram-se em dois períodos de tempo diferentes: primavera/verão e outono/inverno, com exceção do ET8 e ET5. Nestes dois casos, a recolha de dados decorreu num único período de tempo, uma vez que estes estabelecimentos estiveram em funcionamento apenas durante três meses ao longo do desenvolvimento do estudo. A recolha de amostras de água decorreu numa só campanha, uma vez que se partiu do pressuposto de que a concentração de radão na água não seria variável. A recolha de dados na habitação do trabalhador coincidiu com a 2ª campanha de recolha de dados.

O estabelecimento termal ET17 foi contactado para participar no estudo, tal como os restantes estabelecimentos termais, desconhecendo-se que este estabelecimento termal tinha a sua atividade suspensa.

No entanto, como os responsáveis do ET17 mostraram disponibilidade em participar no estudo, foi agendada a primeira visita ao estabelecimento termal, mas não foram efetuadas medições da concentração de radão no ar, taxa de dose de radiação gama e radiação gama total, uma vez que não se existia qualquer exposição. No entanto, como as condicionantes geológicas deste estabelecimento termal são diferentes das restantes, uma vez que o ET17 se situa numa região constituída por rochas sedimentares e pelo facto da composição da água a nível de quimismo e mineralização ser diferente, foi decido realizar a colheita de água no furo 1 e furo 2, nesta primeira deslocação ao estabelecimento termal.

Posteriormente, e a pedido do responsável técnico das instalações, foi solicitada a repetição das colheitas de água nos furos (1 e 2) e efetuar uma colheita de água à nascente, que está localizada no interior do estabelecimento termal e que no século XV, mais precisamente em 1485, funcionava uma piscina termal. Assim, foram recolhidas 5 amostras de água, duas colheitas no furo 1, duas colheitas no furo 2 e uma colheita na nascente, tendo os valores da concentração de radão variam entre 23 e 50 Bq/L, muito aquém do nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM de 100 Bq/L mas concordantes com o encaixante geológico da região.

Para o tratamento estatístico dos dados recolhidos foi usado o programa *Statistica* (versão 12). Foram testados os ajustes a diferentes tipos de distribuição (Normal, Log-Normal e Weibull), para os valores da taxa de dose de radiação gama, através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Adotou-se um nível de significância 0.05 para o valor de alfa ( $\alpha$ ).

Foi ainda utilizada a função de autocorrelação, que sendo uma das análises clássicas no estudo de séries temporais enquanto ferramenta exploratória da dependência temporal dos registos, indica em que medida cada registo num dado instante  $t$  se relaciona com os registos em  $t+1$ ,  $t+2$ , ...,  $t+i$ . No presente estudo aplicou-se a função de autocorrelação às medições da taxa de dose de radiação gama na tentativa de analisar em que medida o valor registado numa determinada hora se relaciona com o valor registado nas horas seguintes. Pretendeu-se assim detetar uma eventual periodicidade ou ciclicidade nos valores obtidos para esta variável.

Para cada intervalo fixo  $i$  poder-se-á calcular a correlação amostral  $r_i$ , entre os valores de  $X_t$  e  $X_{t+i}$ , segundo a seguinte equação (com  $i = 1, 2, 3, \dots, N-1$ ):

$$r_i = \frac{\sum_{t=1}^{N-i} (X_t - \bar{X})(X_{t+i} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} \quad \text{Eq. 1}$$

A representação gráfica de  $r_i$  mostra a estrutura de dependência entre os dados através do correlograma fornecendo um coeficiente de correlação temporal dos valores da taxa de dose de radiação gama entre os sucessivos valores separados por  $i$  horas, ou seja, este gráfico faz corresponder a cada coeficiente de autocorrelação  $r_i$  o seu respetivo desfasamento temporal  $i$  (**Lag**).

A análise de correlação serial é feita a partir dos coeficientes da função autocorrelação, acompanhada do teste estatística-Q de Ljung-Box com o valor-p, em que é testada a hipótese nula de que as autocorrelações até Lag k são iguais a zero (ou seja, os valores dos dados são aleatórios e independentes até um certo número de Lags). A estatística-Q aproxima-se a uma distribuição de Qui-quadrado com k graus de liberdade em que  $H_0$  postula que “Não existe autocorrelação até a ordem k”.

Se a estatística-Q for maior que um valor crítico especificado, as autocorrelações para um ou mais Lags poderão ser significativamente diferentes de zero, indicando que os valores não são aleatórios e independentes ao longo do tempo. Desta forma, a auto-correlação é verificada quando pelo menos um dos coeficientes de autocorrelação é diferente de zero e quando o p-valor da estatística-Q é suficiente pequeno para rejeitar a hipótese nula, da série não apresentar autocorrelação. O teste mostra ainda a probabilidade de que a estatística-Q seja insignificante (P): um valor pequeno de P sugere a rejeição da hipótese nula. Para um intervalo de 95 % de confiança, um valor de P menor que 0.05 indica que a probabilidade de existir autocorrelação até a ordem k é de 95 %.

A representação gráfica da autocorrelação ou correlograma indica, além do coeficiente de autocorrelação, (**Corr**), o erro padrão da autocorrelação para o Lag k (*Standard Error*, **S.E.**), o valor da estatística-Q (**Q**) e a probabilidade da estatística-Q ser insignificante (**P**).

No presente estudo, considerou-se existir correlação significativa para valores de  $r_i$  superiores a 0.640 ou inferiores a -0.640. Para os casos em que se verificou existir correlação significativa, segundo este critério, tentou-se ajustar um modelo teórico.

A partir dos dados recolhidos para a concentração de radão no ar interior foi possível calcular a dose resultante da exposição interna, por inalação do radão, e a dose efetiva anual combinando a primeira com a dose resultante da exposição externa, dada pela taxa de dose de radiação gama.

Para a estimativa da dose de exposição interna por inalação foi utilizada a seguinte equação, (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000; IAEA, 2011):

$$E = C_{Rn} DCF_{Rn} t_{exp} F \quad \text{Eq. 2}$$

em que E corresponde à dose interna por inalação (mSv/ano),  $C_{Rn}$  é a concentração de radão no ar interior ( $Bq\ m^{-3}$ ),  $DCF_{Rn}$  é o fator de conversão de dose ( $9 \times 10^{-6}\ mSv\ h^{-1}$  por  $Bq\ m^{-3}$ ) (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000),  $t_{exp}$  é o período de exposição, ou seja, o número de horas de trabalho num ano (2000 horas/ano) (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000) e F é o fator de equilíbrio (fração do equilíbrio secular representado pela radiação alfa potencial que resulta do decaimento dos isótopos de vida curta provenientes do radão) (Pereira et al., 2001) para o qual se adotou o valor de 0.4 (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000).

Para a estimativa da exposição interna por inalação de radão, na habitação do trabalhador, entendeu-se utilizar a equação 2, ou seja, os mesmos parâmetros de exposição usados na equação para a estimativa da dose de exposição interna por inalação no estabelecimento termal. A razão prende-se com o facto de os trabalhadores terem referido que em média o tempo de permanência na habitação situa-se entre as 14 e as 16 h. Apesar do tempo de permanência na habitação ser ligeiramente superior ao tempo de permanência no local de trabalho, optou-se por não adotar o tempo previsto na literatura, 7000 h/ano (ICRP, 1994; UNSCEAR, 2000), uma vez que este tempo

corresponde a uma média de ocupação na habitação de 80 %, o que não se verifica. Por outro lado, adotando-se o mesmo tempo de exposição, é possível comparar diretamente a dose resultante em ambos os cenários (ocupacional e habitacional).

Para os casos em que a concentração de radão foi medida duas vezes, ainda que em períodos diferentes, a dose de exposição interna foi calculada com o valor mais elevado da concentração de radão no ar interior, na tentativa de representar o pior cenário de exposição, uma vez que o maior contributo para a dose efetiva anual deve-se à inalação do radão.

A dose externa anual foi estimada multiplicando o valor da taxa de dose de radiação gama medido em cada local, dado em mSv/h, pelo período de exposição de 2000 horas/ano, (ICPR, 1994; UNSCEAR, 2000; IAEA, 2011).

A dose efetiva anual resulta da soma da dose de exposição interna e da dose de exposição externa. Como os valores da taxa de dose de radiação gama referem-se a dois períodos de tempo distintos (por exemplo inverno e verão) em alguns estabelecimentos termais, a dose efetiva anual foi estimada primeiro com a dose de exposição externa resultante dos dados obtidos no verão e depois com a dose de exposição externa resultante dos dados obtidos no inverno, no sentido de se avaliar se existe alguma diferença significativa entre estes dois períodos. Posteriormente, os dados referentes aos dois períodos foram combinados para a estimativa da dose efetiva anual sendo esta abordagem mais representativa do valor anual.

O limite da dose anual efetiva proposto pela Diretiva 2013/59/EURATOM é de 20 mSv/ano, não podendo exceder 50 mSv num mesmo ano. Por outro lado, sempre que a exposição dos trabalhadores seja suscetível de exceder uma dose efetiva de 6 mSv por ano, esta deverá ser gerida como uma situação de exposição planeada, aplicando-se os limites de dose e de redução de dose. No entanto, sempre que a dose efetiva para os trabalhadores seja igual ou inferior a 6 mSv por ano, é exigido que os responsáveis do estabelecimento termal mantenham a exposição dos trabalhadores sob observação.

Foi ainda efetuada a análise de correlação, o que permitiu determinar o grau de associação entre as diferentes variáveis: concentração de radão no ar interior, concentração de radão na água, taxa de dose de radiação gama e radiação gama total.

## 5.1 ET1

Foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar foi medida na piscina termal, na piscina do spa, ORL e cabine do spa. A concentração de radão na água foi avaliada na buvette, ORL, piscinas e emanatório. A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal e ORL e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c da habitação.

Foram efetuadas duas campanhas de recolha de dados para todas as variáveis com exceção da radiação gama total, da concentração de radão água e concentração de radão no ar interior na habitação do trabalhador.



Estas duas campanhas foram identificadas como tendo sido realizadas no inverno decorrendo de 16/01/2014 a 03/03/2014 e no verão decorrendo de 03/07/2014 a 13/08/2014.

Na primeira campanha foram feitas colheitas de amostras de água para determinação da concentração de radão, foi efetuada a medição (instantânea) da radiação gama total e a medição (integrada) da taxa de dose de radiação gama durante um período de 47 dias, em simultâneo com a medição da concentração de radão no ar interior.

Na segunda campanha repetiram-se as medições da concentração de radão no ar interior e da taxa de dose de radiação gama no estabelecimento termal durante um período de 42 dias. A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador decorreu em simultâneo a estas duas medições (Tabela 5.2). A medição da radiação gama total foi feita na 1ª deslocação à habitação do trabalhador para colocar o detetor passivo CR39 (medição de concentração de radão no ar interior pelo período de 42 dias).

Tabela 5.2 - Recolha de dados (ET1)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	16/01/2014	03/03/2014	47	03/07/2014	13/08/2014	42
CRnÁgua (Bq/L)	16/01/2014	16/01/2014	1	19/02/2015	19/02/2015	1
DRG (μSv/h)	16/01/2014	03/03/2014	47	03/07/2014	13/08/2014	42
RGT (c.p.s.)	16/01/2014	16/01/2014	1	19/02/2015	19/02/2015	1
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	03/07/2014	13/08/2014	42
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	03/07/2014	03/07/2014	1

Após a análise de alguns resultados da concentração de radão no ar interior deste estabelecimento foi decidido analisar a concentração de radão na água da piscina termal e da piscina do spa, pelo facto dos valores da concentração de radão no ar terem sido elevados durante a 1ª campanha, e repetir a medição da radiação gama total. Estas medições foram incluídas na 2ª campanha de recolha de dados, representada na Tabela 5.2, mas realizadas em 19/02/2015 (período de inverno, portanto).

### 5.1.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET1 encontram-se descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Concentração de radão no ar interior (ET1)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Inverno	Verão
R/C	Cabine spa	2	674	436
	Piscina spa	2	784	333
	Piscina termal	2	449	238
1º Piso	ORL	2	3479	3119

Todos os valores obtidos durante o período de inverno são superiores aos valores obtidos no período de verão, devido à maior utilização da água durante o período de verão (o número de utilizadores que frequentaram a piscina termal, entre o período de 16/12/2013 a 03/01/2014, foi de 92, entre o período de 03/07/2014 a 21/07/2014 foi de 335). A concentração de radão no ar interior diminui cerca de 35 % na cabine do spa, 58 % na piscina spa, 47 % na piscina termal e 10 % na ORL, do período de inverno para o período de verão.

A concentração de radão no ar interior do ET1 é superior a  $300 \text{ Bq/m}^3$ , nível de referência previsto na Diretiva 2013/59/EURATOM, com exceção da concentração de radão no ar interior da piscina termal durante o período de verão ( $238 \text{ Bq/m}^3$ ). No entanto, face ao valor de  $400 \text{ Bq/m}^3$  previsto na legislação nacional, através da Portaria n.º 353-A/2013, apenas 25 % dos resultados da concentração de radão no ar interior (resultados de 8 dosímetros: 4 no período de inverno e 4 no período de verão) não ultrapassaram o limiar de proteção radiológica (piscina termal e piscina do spa).

Na ORL, a concentração de radão no ar interior é bastante superior à concentração de radão no ar interior das piscinas (piscina termal e piscina do spa) e cabine spa, sendo aproximadamente 10 vezes superior ao nível de referência da UE,  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Como já foi referido, a concentração de radão no ar interior é mais elevada no inverno do que no verão, tal como seria de esperar.

A razão da elevada concentração de radão no ar interior do ET1 deve-se ao tipo de sistema de ventilação existente no local. Em particular, na ORL existe um sistema de ventilação natural pouco eficiente em reduzir os níveis de radão no ar, enquanto as piscinas (termal e spa) estão equipadas com um sistema de ventilação mecânico, que reduz significativamente a concentração de radão no ar.

A concentração de radão medida no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de  $68 \text{ Bq/m}^3$ , inferior ao nível de referência da UE ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ) e inferior ao valor limiar de proteção previsto na legislação nacional ( $400 \text{ Bq/m}^3$ ). Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador ( $68 \text{ Bq/m}^3$ ) é muito inferior à concentração de radão no ar interior deste estabelecimento termal, nomeadamente no posto de trabalho da ORL ( $3119$  e  $3479 \text{ Bq/m}^3$ ), pelo que a potencial exposição ao radão será apenas ocupacional.

Para a estimativa da dose de exposição interna por inalação, resultante da concentração de radão na habitação do trabalhador, obteve-se o valor de  $0.490 \text{ mSv/ano}$ , o que é inferior ao limite de dose efetiva anual para o público em geral de  $1 \text{ mSv/ano}$ , previsto na legislação comunitária. Apesar do limite de dose não se aplicar às habitações este valor é referido apenas a título comparativo.

### **5.1.2 Concentração de radão na água**

No ET1 foi feita a recolha de um total de 7 amostras de água distribuídas pela buvette (único acesso ao furo), emanatório, ORL e piscinas, para determinar a concentração de radão na água. Na buvette e emanatório foram efetuadas 2 colheitas de água em cada local no mesmo dia, uma vez que disponhamos de material e equipamento excedente nesta deslocação ao estabelecimento termal.

Os resultados da concentração de radão na água encontram-se representados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Concentração de radão na água (ET1)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
		Amostra 1	Amostra 2
<b>Buvete</b>	2	965	973
<b>Emanatório</b>	2	785	755
<b>ORL</b>	1	976	--
<b>Piscina spa</b>	1	1	--
<b>Piscina termal</b>	1	6	--

No estabelecimento termal ET1, 5 de um total de 7 resultados das análises efetuadas para determinar a concentração de radão na água, excederam o nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, 100 Bq/L. Por outro lado, a concentração de radão na água das piscinas (1 e 6 Bq/L) foi muito inferior a este nível de referência. Uma explicação plausível para este valor da concentração pode ser o facto de a água ser tratada (com cloro) e por isso a concentração de radão é menor (Tarim et al., 2012) e também pelo facto de a água não ser substituída diariamente, verificando-se uma redução significativa da atividade de radão, devido ao seu decaimento (Radolic et al., 2005). Nos locais em que existe consumo de água mineral natural a concentração de radão na água foi mais elevada na buvete e na ORL.

### 5.1.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Foram efetuadas medições da radiação gama total (c.p.s.) e da taxa de dose ( $\mu\text{Sv/h}$ ) no estabelecimento ET1 em diferentes locais do edifício. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 - Radiação gama total (ET1)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>R/C</b>	<b>Buvete</b>	135
	<b>Cabine dupla Med1</b>	135
	<b>Piscina spa Med1</b>	135
	<b>Piscina spa Med2</b>	225
	<b>Piscina termal</b>	135
<b>1º Piso</b>	<b>Emanatório</b>	135
	<b>ORL Med1</b>	145
	<b>ORL Med2</b>	100

Med1 refere-se à 1ª campanha de recolha de dados e Med2 refere-se à 2ª campanha.

O valor mais elevado, para a radiação gama total, foi registado durante a 2ª campanha na piscina do spa (Med2), seguindo-se o valor obtido na 1ª campanha na ORL (Med1). No entanto, todos os valores são bastante baixos.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal durante o inverno e o verão e na ORL apenas no período de inverno (Tabela 5.6). A medição da taxa de dose de radiação gama na ORL foi decidida realizar após a conclusão das duas campanhas de recolha de dados, pelo que na Tabela 5.6 apenas se apresentam os resultados referentes a um único período para este local.

Tabela 5.6 - Taxa de dose de radiação gama (ET1)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
<b>Piscina termal</b>	<b>Inverno</b>	1106	0.148	0.006	0.148	0.132	0.192
	<b>Verão</b>	988	0.565	0.237	0.525	0.133	1.282
<b>ORL</b>	<b>Inverno</b>	1007	0.298	0.007	0.298	0.279	0.321

A taxa de dose de radiação gama varia entre os 0.132  $\mu\text{Sv/h}$  (piscina termal no inverno) e 1.282  $\mu\text{Sv/h}$  (piscina termal no verão). Em média, o valor da taxa de dose de radiação gama é superior no período de verão, no caso da piscina termal.

No entanto, para um subconjunto de dados, nomeadamente para os valores obtidos na piscina termal para a concentração de radão no ar interior e taxa de dose de radiação gama durante o período de verão, deveria aprofundar-se o estudo uma vez que há resultados pouco consistentes.

#### 1.2.1.1 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

O ajuste a uma distribuição conhecida (distribuição normal) apenas foi possível para os dados da taxa de dose obtidos na piscina termal durante o verão. A respetiva função cumulativa encontra-se representada na Figura 5.3.

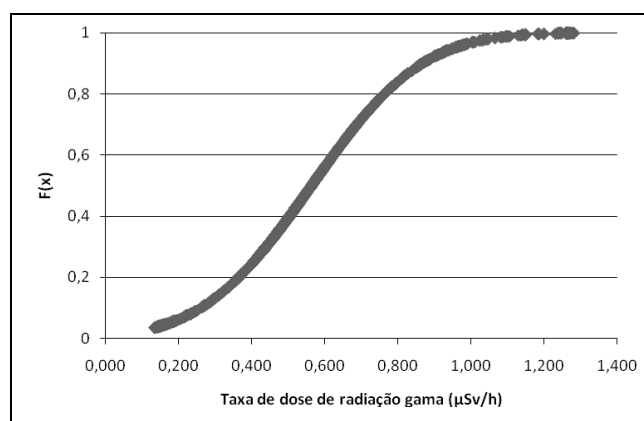


Figura 5.3 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - verão (ET1).

Os valores da taxa de dose de radiação gama na piscina termal do ET1 seguem uma distribuição normal, tendo-se obtido um p-value de 0.17.

#### 5.1.3.2 Autocorrelação

Para analisar a dependência entre os dados referentes às medições efetuadas na piscina termal, registos de inverno e verão, e na ORL, registos apenas de inverno, foi calculada a função autocorrelação da taxa de dose de radiação gama para cada um destes três conjuntos de dados.

Na Figura 5.4 são apresentados os coeficientes da função autocorrelação da taxa de dose de radiação gama referente à piscina termal, no período de inverno.

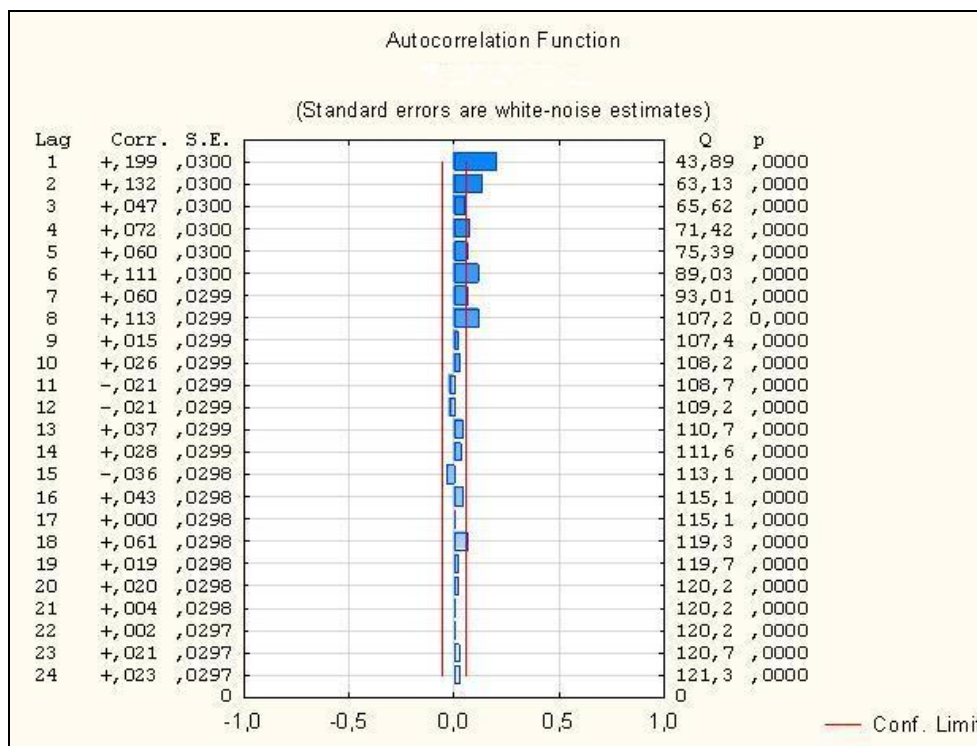


Figura 5.4 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - inverno (ET1).

Pela análise da Figura 5.4, verifica-se que os dados da taxa de dose de radiação gama na piscina termal no período de inverno não são correlacionados, o que contraria o esperado. Neste caso, os valores obtidos para os coeficientes de correlação sugerem que a série temporal que lhes deu origem é totalmente aleatória pois os valores sucessivos não apresentam correlação entre si, sendo todos os coeficientes muito próximos de zero.

No entanto, os dados resultantes das medições efetuadas durante o período de verão na piscina termal são altamente correlacionados (correlação positiva significativa) até intervalos de 6 horas (Lag) (Figura 5.5). Analisando o respetivo correlograma, verifica-se que o coeficiente de correlação parte de valores elevados para pequenos intervalos de tempo (lags) conforme esperado, mas decresce rapidamente, eventualmente tendendo para zero. Neste caso, estamos em presença de um correlograma de curto prazo (o que significa que a série temporal tem correlação de curto prazo), sendo de esperar que valores elevados do correlograma sejam seguidos por valores com tendência a ficar cada vez menores até se aproximarem de zero.

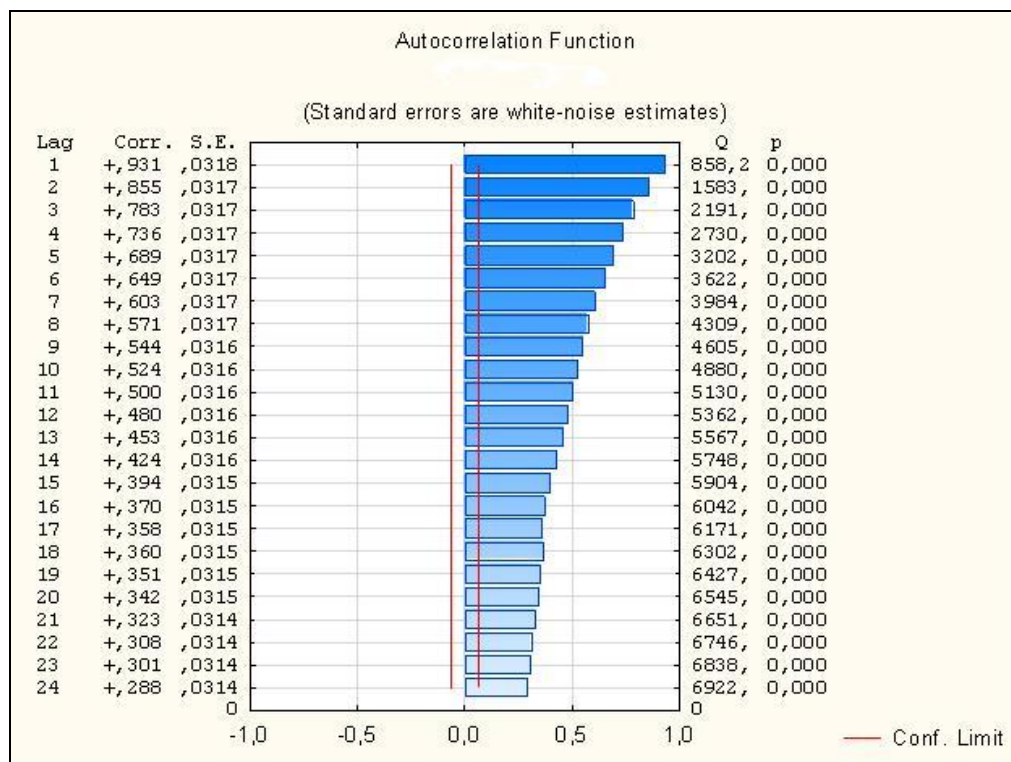


Figura 5.5 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - verão (ET1).

O autocorrelograma pode ser aproximado por um modelo teórico, cujo valor final tende para zero, descrito pela equação,

$$y = a e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \quad \text{Eq. 3}$$

As constantes a e b foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.9205 e 18.6816, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.992 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

Os coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama na ORL, durante o inverno, encontram-se representados na Figura 5.6. Estes resultados estão correlacionados, apresentando a sua variação uma senoide com um período de 24 horas, sendo que se uma série temporal tem tendência para alternar em torno de um valor médio, então o correlograma também vai ter este comportamento (correlograma em séries alternadas).

A amplitude desta senoide não é constante, podendo observar-se um ligeiro amortecimento nos picos da amplitude (0.921 e - 0.423; 0.764 e - 0.456), descrevendo assim, um movimento oscilatório sub-amortecido, tendendo para um valor final igual a zero e que pode ser aproximado por um modelo teórico de equação:

$$y = 0.921 e^{\left(-\frac{x}{a}\right)} \sin(bx + c) \quad \text{Eq. 4}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados tendo-se obtido os seguintes valores: 0.015282, 0.271230 e 1.402295, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.975 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

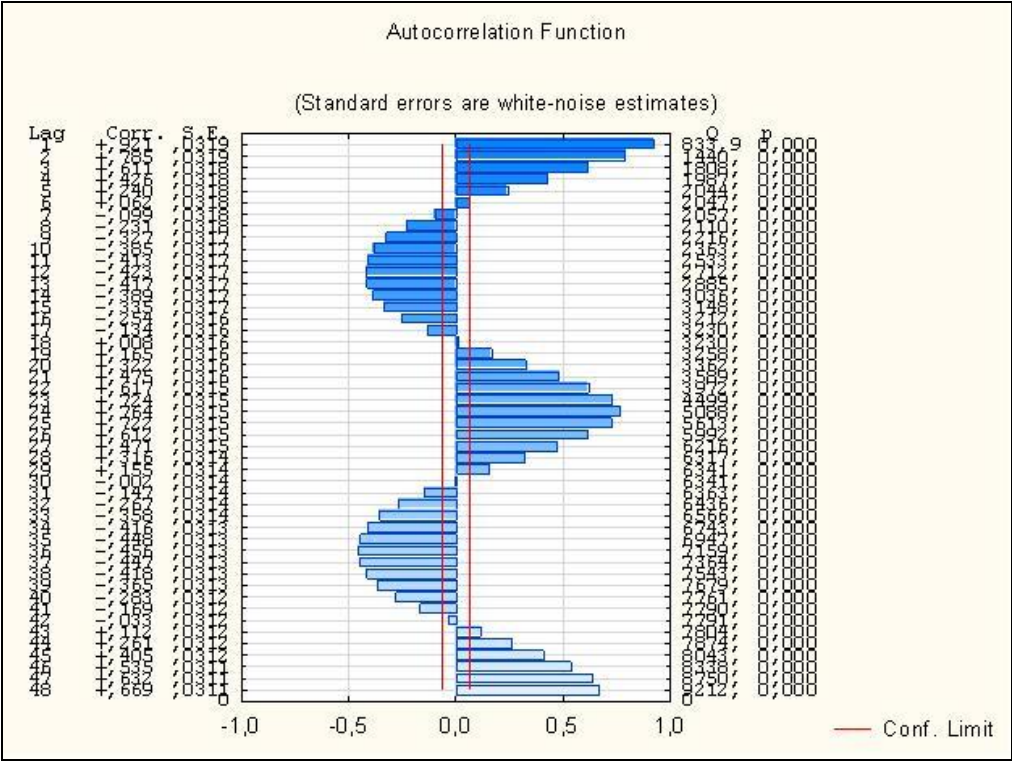


Figura 5.6 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama na ORL - inverno (ET1).

### 5.1.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.7 são apresentados os resultados da estimativa da dose de exposição interna por inalação do radão, a dose de exposição externa por irradiação gama e a dose efetiva anual resultante destas duas componentes.

Tabela 5.7 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET1)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Piscina termal	Inverno	3.23	0.296	3.53
	Verão	1.71	1.13	2.84
	Anual	3.23	0.690	3.92
ORL	Inverno	25.05	0.596	25.65

Observa-se que a dose efetiva anual na piscina termal do ET1 é igual a 3.92 mSv/ano, pelo que os trabalhadores desta área devem ser classificados como trabalhadores de categoria B, uma vez que a dose efetiva anual é inferior a 6 mSv/ano. Assim, verifica-se que a dose efetiva anual na piscina termal do ET1 é inferior ao limite de dose de 20 mSv/ano, previsto no Decreto-Lei n.º 222/2008, sendo fixado adicionalmente o limite de 100 mSv por um período de cinco anos consecutivos, na condição de esse valor não ultrapassar uma dose efetiva máxima de 50 mSv por cada ano. Verifica-se ainda que a dose efetiva referente ao período de inverno (3.53 mSv/ano) é superior à dose efetiva estimada com os dados recolhidos no período de verão (2.84 mSv/ano) o que reflete a influência da concentração de radão no ar na estimativa da dose, muito superior no primeiro período.

Os trabalhadores afetos à ORL devem ser classificados como trabalhadores expostos, uma vez que estão suscetíveis de receber uma dose efetiva superior a 6 mSv/ano (25.65 mSv/ano), devendo assim cumprir os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica preconizado no Decreto-Lei n.º 222/2008, do local de trabalho ou ao nível da dose individual.

### 5.1.5 Resumo

Na Tabela 5.8 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.8 - Resumo dos resultados obtidos para o ET1

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (µSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Buvete Amostra 1	--	965	135	--	--
	Buvete Amostra 2	--	973	135	--	--
	Cabine dupla Med1	674	--	135	--	--
	Cabine dupla Med2	436	--	135	--	--
	Piscina spa Med1	784	--	135	--	--
	Piscina spa Med2	333	1	225	--	--
	Piscina termal Med1	449	--	135	0.148	3.53
	Piscina termal Med2	238	6	135	0.565	--
1º Piso	Emanatório Amostra 1	--	785	135	--	--
	Emanatório Amostra 2	--	755	135	--	--
	ORL Med1	3479	976	145	--	25.65
	ORL Med2	3119	--	100	0.223	--

Med1 refere-se à 1ª campanha de recolha de dados e Med2 refere-se à 2ª campanha.

Pela análise da tabela, verificamos que a elevada dose efetiva anual na ORL é devida à concentração de radão no ar interior e ao deficiente sistema de ventilação neste espaço (ventilação natural). Isto pode ainda ser reforçado pelo facto da concentração de radão na água da ORL ser aproximadamente igual à concentração de radão na água dos restantes locais de tratamento deste estabelecimento.

Contudo, o radão no interior dos edifícios provém das emanações a partir do solo que normalmente contribui com cerca de 95 %, dos materiais de construção que contribuem com cerca de 5 % e da água consumida que contribui com menos de 1 %, e tende a acumular-se nas zonas mais baixas (caves e pisos térreos) sendo 8 vezes mais denso do que o ar. Desta forma, a concentração de radão tende a diminuir gradualmente para os pisos superiores, diminuindo significativamente a partir do segundo piso acima do r/c, o que não se verifica neste caso. Aqui poderão intervir outros fenómenos, como o efeito chaminé que ocorre em particular no inverno, em que, devido a pormenores construtivos, existem canais preferenciais que permitem o transporte de ar (e do radão) por diferenciais de pressão e de temperatura do r/c para o 1º piso. Por outro lado, prevê-se que o bom arejamento da maioria das divisões do r/c (espaços amplos com circulação de ar) tenha influência nos resultados obtidos.



## 5.2 ET2

No estabelecimento ET2 as medições para determinar a concentração de radão na água e no ar interior, dose de radiação gama e radiação gama total, foram realizadas apenas na primeira campanha (novembro/dezembro 2013), uma vez que o estabelecimento termal encerrou para obras de remodelação no início do ano de 2014 (Tabela 5.9). Sendo assim, não foi possível selecionar o trabalhador, e consequentemente não foi possível avaliar qualquer eventual contribuição para a dose de exposição total, fora do contexto ocupacional.

Tabela 5.9 - Recolha de dados (ET2)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	26/11/2013	26/11/2013	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	26/11/2013	20/12/2013	25
DRG (μSv/h)	26/11/2013	20/12/2013	25
RGT (c.p.s.)	26/11/2013	26/11/2013	1

A recolha de dados no estabelecimento ET2 foi realizada num período de 25 dias, sendo este o período mais curto de recolha de dados quando comparado com os restantes estabelecimentos termais, pelo facto do ET2 ter encerrado no início de 2014.

### 5.2.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET2 são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Concentração de radão no ar interior (ET2)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Inverno
R/C	Casa das máquinas	1	422
	Gabiente médico	1	577
	Hall do spa termal	1	841
	ORL	1	707
	Piscina termal	1	355

A concentração de radão no ar interior é sempre superior ao nível de referência prevista na Diretiva 2013/59/EURATOM (300 Bq/m<sup>3</sup>). Com exceção da piscina termal (355 Bq/m<sup>3</sup>), os valores obtidos para a concentração de radão no ar também são superiores ao limite de proteção previsto na legislação nacional, Portaria n.º 353-A/2013 (400 Bq/m<sup>3</sup>) (Tabela 5.10). O local onde foi registado maior concentração de radão foi no *hall* do estabelecimento termal, 841 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente três vezes superior ao valor de referência da UE.

### 5.2.2 Concentração de radão na água

No estabelecimento ET2 as colheitas de amostras de água para determinar a concentração de radão na água foram efetuadas na buvete, furo e ORL, conforme a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Concentração de radão na água (ET2)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Buvete</b>	1	59
<b>Furo</b>	1	41
<b>ORL</b>	1	26

Relativamente à concentração de radão na água no ET2 verifica-se que nenhuma das três amostras de água analisadas excedeu o nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM de 100 Bq/L.

### 5.2.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os resultados obtidos neste estabelecimento termal para a radiação gama total e para a taxa de dose de radiação gama são apresentados nas Tabelas 5.12 e 5.13.

Tabela 5.12 - Radiação gama total (ET2)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>R/C</b>	Casa das máquinas	165
	Gabinete médico	200
	ORL	180

O valor mais elevado para a radiação gama total foi obtido no gabinete médico (Tabela 5.12) assim como o valor mais elevado da taxa de dose de radiação gama (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 - Taxa de dose de radiação gama (ET2)

TDRgama (µSv/h)		N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
<b>Gabinete médico</b>	<b>Inverno</b>	575	0.410	0.008	0.409	0.384	0.434
<b>Casa das máquinas</b>	<b>Inverno</b>	575	0.321	0.008	0.321	0.299	0.344
<b>ORL</b>	<b>Inverno</b>	575	0.312	0.008	0.312	0.290	0.337

Todos os locais em que se realizaram medições da taxa de dose de radiação gama têm ventilação natural, no entanto, o sistema de ventilação no gabinete médico aparenta ser menos eficiente, uma vez que esta ventilação não é dirigida diretamente para o exterior, mas sim para os corredores de acesso à área de reabilitação.

### 5.2.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os resultados da medição da taxa de radiação de dose gama obtidos no gabinete médico (GM), na casa das máquinas (CM) e na ORL seguem uma distribuição log-normal (Figuras 5.7, 5.8 e 5.9).

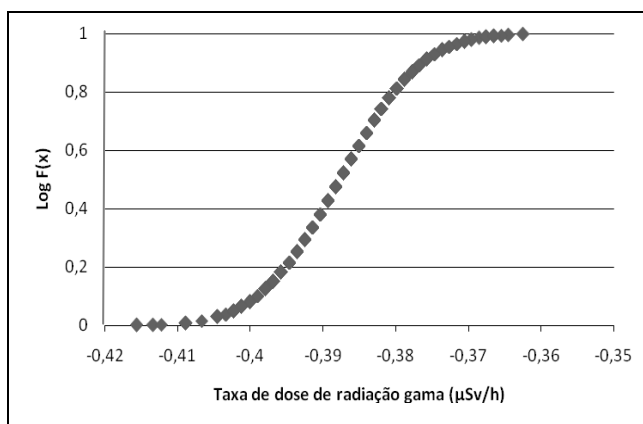


Figura 5.7 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, GM (ET2).

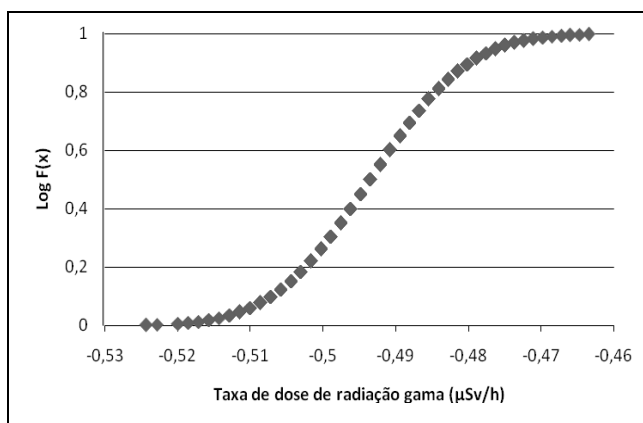


Figura 5.8 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, CM (ET2).

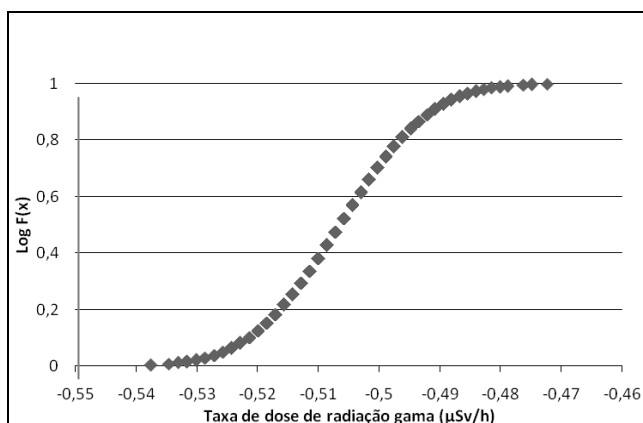


Figura 5.9 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL (ET2).

### 5.2.3.2 Autocorrelação

A função de autocorrelação foi calculada para o gabinete médico, casa das máquinas e ORL, conforme as Figuras 5.10, 5.11 e 5.12.

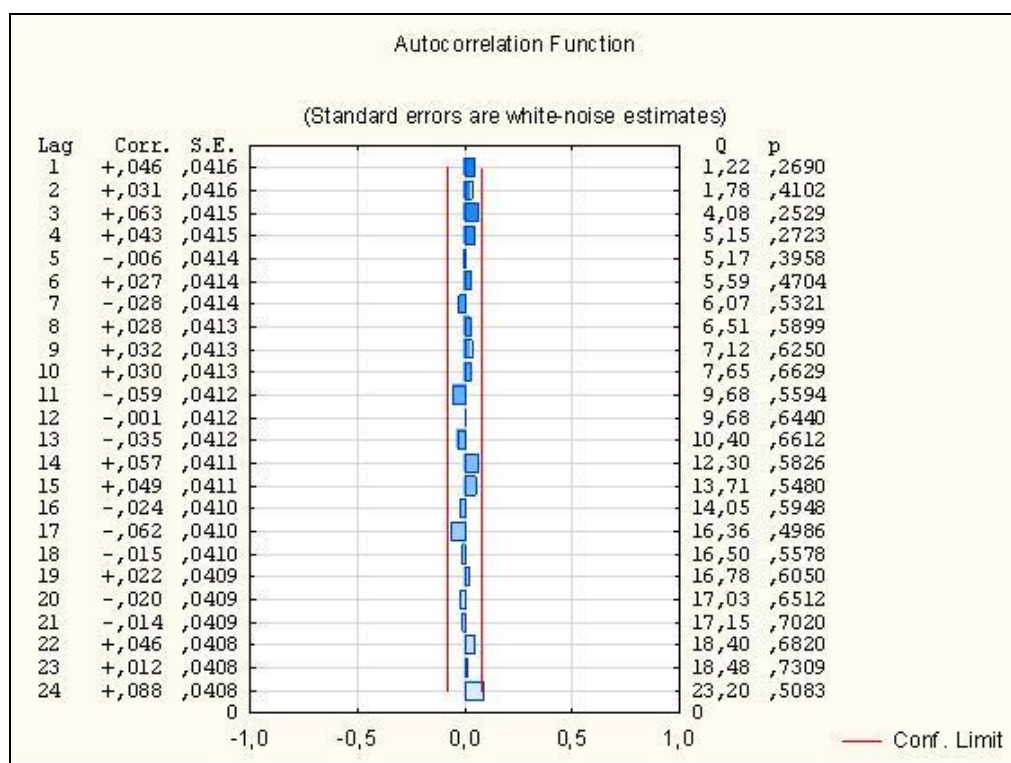


Figura 5.10 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, GM (ET2).

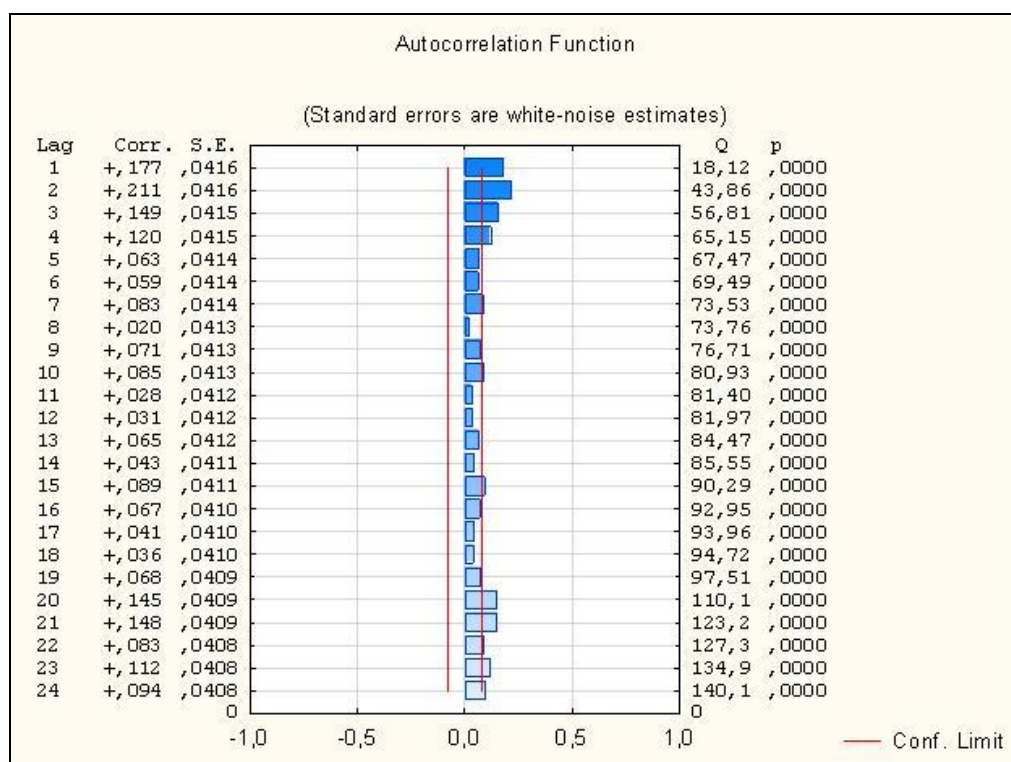


Figura 5.11 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, CM (ET2).

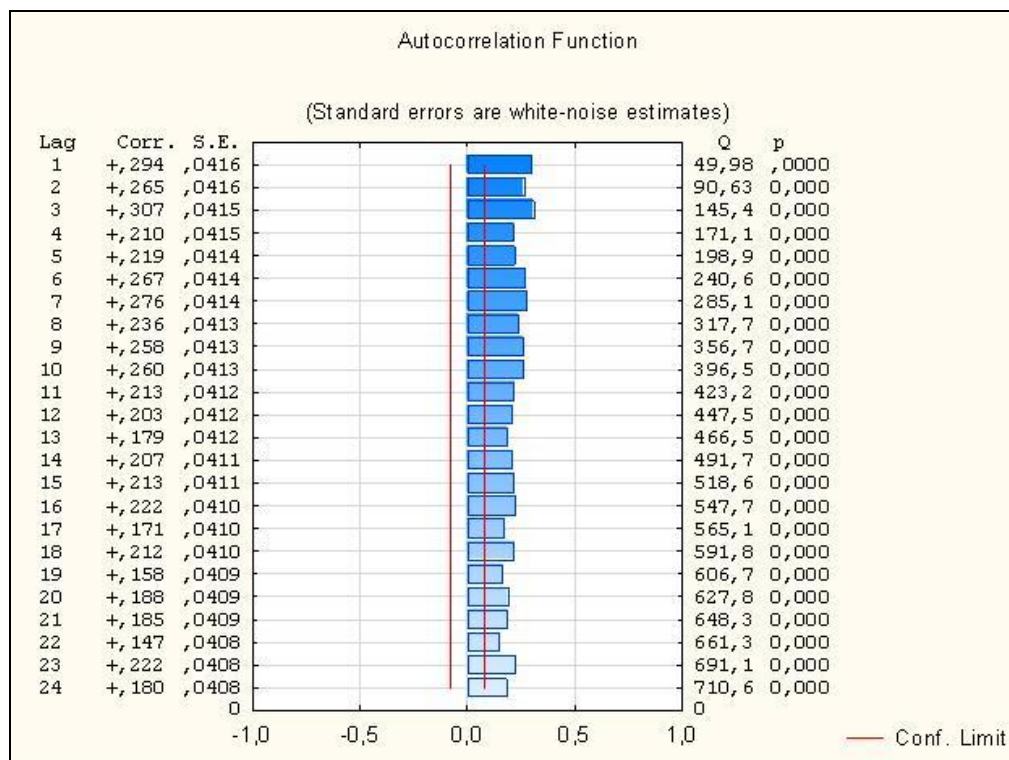


Figura 5.12 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL (ET2).

Para os três locais verifica-se que os dados da taxa de dose de radiação gama não estão correlacionados, o que contraria o esperado, sugerindo que estes resultados são aleatórios pois os coeficientes de autocorrelação aproximam-se de zero.

## 5.2.4 Estimativa da dose efetiva

A estimativa da dose interna, da dose externa e da dose efetiva anual para o gabinete médico, casa das máquinas e ORL, encontram-se na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET2)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>Gabinete médico</b>	<b>Inverno</b>	4.15	0.624	4.77
<b>Casa das máquinas</b>	<b>Inverno</b>	3.04	0.642	3.68
<b>ORL</b>	<b>Inverno</b>	5.09	0.624	5.71

Em todos os casos a dose efetiva anual é inferior ao limite de dose previsto no Decreto-Lei n.º 222/2008, 20 mSv/ano. Sendo assim, os trabalhadores do gabinete médico, casa das máquinas e ORL, são classificados como trabalhadores da categoria B, uma vez que a dose efetiva nestes locais é inferior a 6 mSv/ano.

### 5.2.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Resumo dos resultados obtidos para o ET2

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Buvete	--	59	165	--	--
	Casa das máquinas	422	--	165	0.321	3.68
	Furo	--	41	165	--	--
	Gabiente médico	577	--	200	0.410	4.77
	Hall do spa termal	841	--	165	--	--
	ORL	707	26	180	0.312	5.71
	Piscina termal	355	--	110	--	--

A dose efetiva anual mais elevada corresponde à ORL, o que pode ser explicado pela elevada concentração de radão no ar interior. Uma vez que a concentração de radão no ar é cerca de 3.5 vezes superior à concentração de radão na água, o grande contributo para a concentração de radão no ar terá origem no edifício, ou seja, nos materiais de construção e/ou subsolo, e não na água, apesar de esta ser também uma importante fonte de radão, uma vez que a concentração de radão na água é residual para todos os pontos de água analisados.

### 5.3 ET3

As instalações do ET3 abrangem dois edifícios, o E1 com atividade durante todo o ano e o E2 com atividade sazonal, durante os meses de abril a outubro.

Foram efetuadas duas campanhas de recolha de dados para todas as variáveis com exceção da radiação gama total, da concentração de radão na água e da concentração de radão na habitação do trabalhador.

Na primeira campanha de medições, foram efetuadas várias medições em diferentes locais do E1, a concentração de radão no ar interior foi medida no corredor de acesso à piscina termal, corredor de tratamentos, duche *vichy*, ORL e piscina termal. A concentração de radão na água foi avaliada na captação, furo, ORL e piscina termal. A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal e ORL e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal.

Na segunda campanha, foram incluídas as medições efetuadas no E2. A concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy* 1 e 2, ORL e piscina coletiva. A concentração de radão na água foi avaliada na ORL e piscina termal. A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina coletiva e na ORL e a radiação gama total em todo o edifício. Foram ainda repetidas as medições da concentração de radão no ar interior (duche *vichy*, ORL e piscina termal) e taxa de dose de radiação gama na piscina termal e na ORL no E1. Na habitação do trabalhador foram feitas

medições da concentração de radão no ar interior e da radiação gama total na sala, que se situa no 1º andar de um prédio.

Estas duas campanhas foram identificadas como tendo sido realizadas no inverno decorrendo de 16/01/2014 a 03/03/2014 e no verão decorrendo de 03/07/2014 a 13/08/2014 e 20/07/2015 a 31/08/2015.

A recolha de dados no ET3 foi feita de acordo com a Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Recolha de dados (ET3)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	16/01/2014	16/01/2014	1	--	--	--
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	16/01/2014	03/03/2014	47	03/07/2014	13/08/2014	42
DRG (µSv/h)	16/01/2014	03/03/2014	47	03/07/2014	13/08/2014	42
RGT (c.p.s.)	16/01/2014	16/01/2014	1	03/07/2014	03/07/2014	1
CRnAr HaTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	03/07/2014	13/08/2014	42
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	03/07/2014	03/07/2014	1

Na primeira campanha, o período de medição da concentração de radão no ar interior e de medição da taxa de dose de radiação gama foi de 47 dias, enquanto na segunda campanha a duração foi ligeiramente inferior, de 42 dias.

### 5.3.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior dos E1 e E2 encontram-se descritos nas Tabelas 5.17 e 5.18.

Tabela 5.17 - Concentração de radão no ar interior (ET3 – E1)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
R/C	Duche <i>vichy</i> 1	1	155
	Piscina coletiva	1	159
1º Piso	Duche <i>vichy</i> 2	1	137
2º Piso	ORL	1	152

Todos os valores da concentração de radão no ar interior no E1, referentes ao período de inverno, ultrapassaram o nível de referência previsto na legislação da UE, 300 Bq/m<sup>3</sup>, e o limiar de proteção referido na legislação nacional, 400 Bq/m<sup>3</sup>, com exceção da concentração de radão no ar interior da ORL, que não ultrapassou o limiar de proteção. Tal como esperado, verifica-se que a concentração de radão no ar interior é mais elevada durante o inverno do que no verão. Por outro lado, durante o período referente ao verão, a concentração de radão no ar interior é sempre inferior ao limiar de proteção previsto na legislação nacional, 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Os resultados das medições da concentração de radão no ar interior do E2, referentes ao período de verão, encontram-se descritos na Tabela 5.18. Este estabelecimento funciona sazonalmente, pelo que os dados recolhidos referem-se apenas a este período.

Tabela 5.18 - Concentração de radão no ar interior (ET3 – E2)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
R/C	Duche <i>vichy</i> 1	1	155
	Piscina coletiva	1	159
1º Piso	Duche <i>vichy</i> 2	1	137
2º Piso	ORL	1	152

No E2, todos os valores da concentração de radão no ar interior são inferiores a 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>, níveis de referência e limiar de proteção previsto na legislação da UE e legislação nacional, respetivamente.

Verificou-se ainda que a concentração de radão no ar interior do E1 é significativamente superior à concentração de radão no ar interior do E2.

Foi medida a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador afeto à ORL do E1, no período de verão, cujo resultado foi 254 Bq/m<sup>3</sup>, inferior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e inferior ao limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>). No entanto, verifica-se que este resultado é superior à concentração de radão no posto de trabalho, no período semelhante, ou seja, no verão, cujo valor medido foi de 187 Bq/m<sup>3</sup>.

Para o cálculo da dose de inalação resultante da concentração de radão na habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 1.83 mSv/ano, sendo este valor superior ao limite de dose para o público, previsto na legislação comunitária (1 mSv/ano).

### 5.3.2 Concentração de radão na água

A concentração de radão na água do ET3 foi avaliada na captação, furo e ORL, conforme a Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Concentração de radão na água (ET3)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
Captação	1	86
Furo	1	120
ORL (E1)	1	51
ORL (E2)	1	40
Piscina termal (E1)	1	15
Piscina termal (E2)	1	14



Com exceção da água do furo, a concentração de radão na água no ET3 é inferior a 100 Bq/L, nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM.

Por outro lado, os valores da concentração de radão na água das piscinas termais (E1 e E2) são inferiores aos valores da concentração da ORL de ambos os edifícios, o que faz sentido, uma vez que a água das piscinas é tratada (com cloro), sendo que a concentração de radão é menor e também pelo facto da água das piscinas não ser substituída diariamente.

### 5.3.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Foram efetuadas medições da radiação gama total (c.p.s.) e da taxa de dose de radiação gama ( $\mu\text{Sv/h}$ ), em ambos os edifícios deste estabelecimento termal. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.20 e 5.21.

Tabela 5.20 - Radiação gama total (ET3)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Corredor de acesso piscina termal (E1)	235
	Corredor de tratamentos (E1)	265
	Duche <i>vichy</i> (E1)	265
	Duche agulheta (E1)	235
	Piscina termal (E1)	200
	Piscina coletiva (E2)	175
	ORL (E1)	250
1º Piso	Duche <i>vichy</i> (E2)	200
2º Piso	ORL (E2)	150

O valor mais elevado da radiação gama total foi registado no corredor de tratamentos e duche *vichy* do E1, seguindo-se a ORL do E1, também. A radiação gama total no E2 é ligeiramente menor do que no E1.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal e na ORL do E1 e na piscina coletiva do E2. Para este último edifício, a taxa de dose de radiação gama foi avaliada apenas no período de verão, uma vez que o funcionamento deste edifício é sazonal, sendo este o período de funcionamento (Tabela 5.21).

Tabela 5.21 - Taxa de dose de radiação gama (ET3)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
Piscina termal (E1)	Inverno	1099	0.645	0.305	0.593	0.342	1.484
	Verão	984	0.911	0.220	0.961	0.348	1.395
ORL (E1)	Inverno	1099	0.414	0.008	0.414	0.387	0.436
ORL (E1)	Verão	1007	0.395	0.008	0.395	0.370	0.423
Piscina coletiva (E2)	Verão	983	0.281	0.011	0.280	0.251	0.447
ORL (E2)	Verão	1007	0.256	0.011	0.254	0.227	0.295

No ET3, verifica-se que em média, a taxa de dose de radiação gama é mais elevada no E1 do que no E2 em período semelhante, tal como verificado anteriormente com a concentração de radão no ar interior. De todos os períodos de medição, o valor mais elevado, em média, corresponde à piscina termal, 0.911 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) do E1, obtido durante o período de verão. Por outro lado, no E2 a média da taxa de dose de radiação gama é mais elevada na piscina coletiva do que na ORL, uma vez que a concentração de radão no ar interior também é ligeiramente superior na piscina coletiva.

### 5.3.3.1 Ajuste de dados a uma distribuição estatística

Através do teste de Kolmogorov-Smirnov foi possível verificar que todos os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na piscina termal (inverno e verão) e na ORL (inverno e verão) do E1 e na piscina coletiva (verão) e ORL (verão) do E2, seguem uma distribuição normal (Figuras 5.13 a 5.18), tendo-se obtido valores de p-value de 0.17, 0.25, 0.21, 0.16, 0.06 e 0.13 respetivamente.

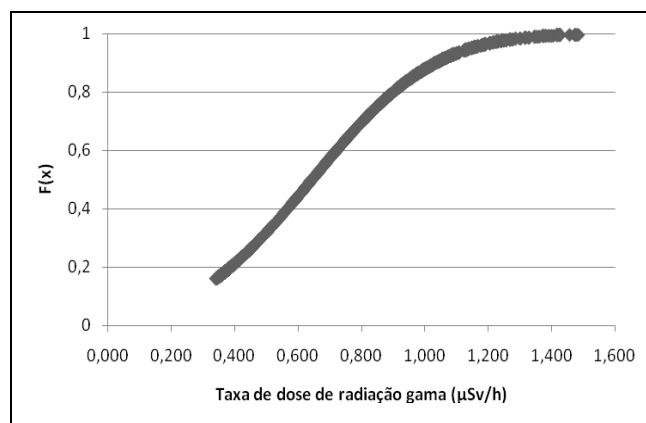


Figura 5.13 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - inverno (E1, ET3).

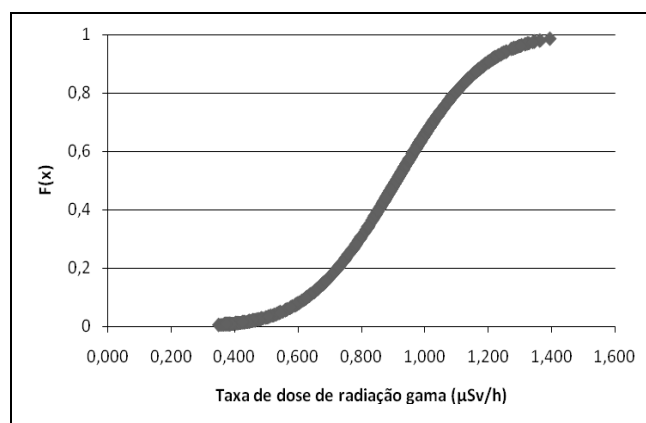


Figura 5.14 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - verão (E1, ET3).

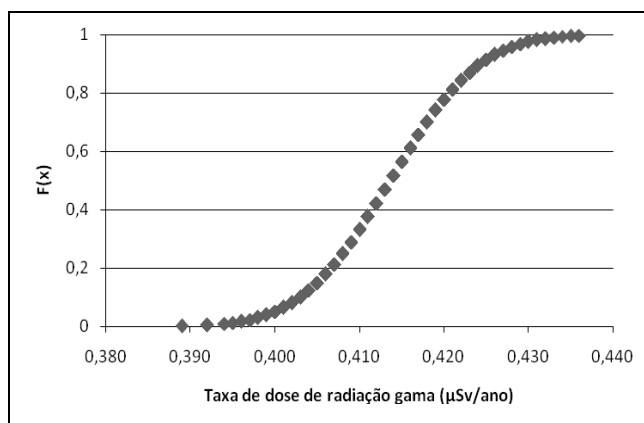


Figura 5.15 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL - inverno (E1, ET3).

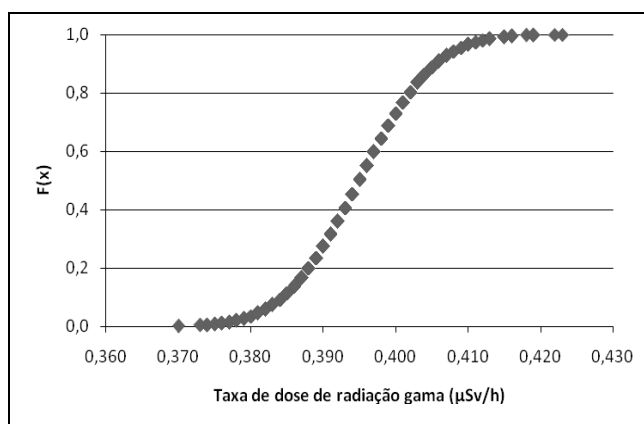


Figura 5.16 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL - verão (E1, ET3).

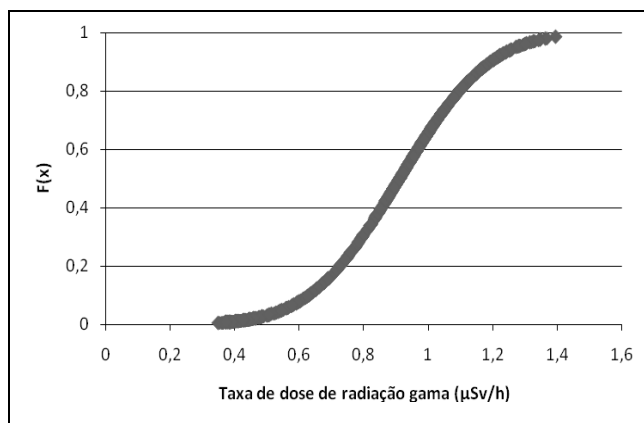


Figura 5.17 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina coletiva - verão (E2, ET3).

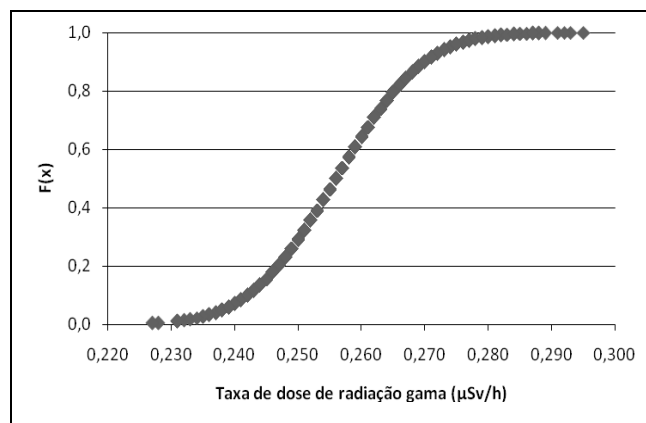


Figura 5.18 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL - verão (E2, ET3).

### 5.3.3.2 Autocorrelação

A função de autocorrelação foi calculada para o E1 (piscina termal e ORL no período de inverno e de verão) e para o E2 (piscina coletiva e ORL durante o período de verão), conforme as Figuras 5.19 a 5.24.

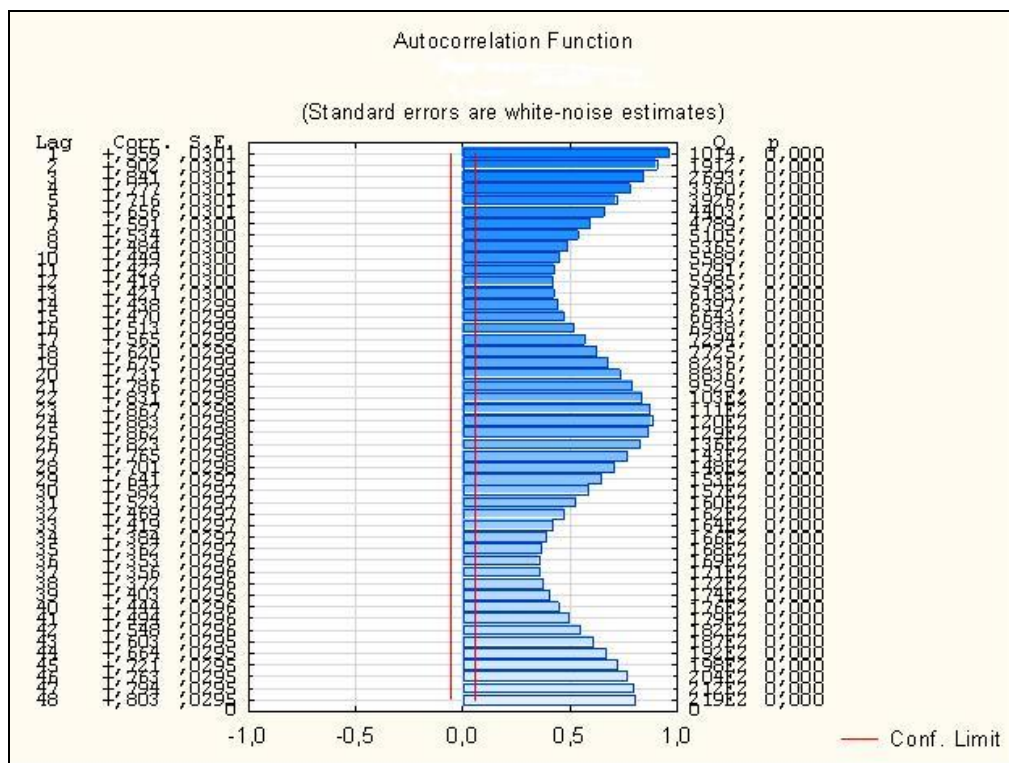


Figura 5.19 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - inverno (E1, ET3).

As medições da taxa de dose de radiação gama efetuadas na piscina termal do E1, durante o período de inverno, apresentam uma correlação positiva, ou seja, à medida que o intervalo entre os registos aumenta, aumenta a correlação entre os valores registados. Há no entanto, uma componente periódica que se repete a intervalos de 24 horas (Figura 5.19). Esta componente periódica segue a forma de uma senoide com período de 24 horas e amplitude máxima igual a 0.959. A figura sugere um movimento oscilatório sub-amortecido (picos de amplitude decrescente

0.959; 0.883), descrito pelo correlograma em séries alternadas tendendo para 0.6, e que pode ser aproximado por um modelo teórico de equação:

$$y = 0.6e^{(-ax)}\text{sen}(bx + c) + 0.6 \quad \text{Eq. 5}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.03874, 0.25945 e 1.60651, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.885 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

Contudo, este comportamento não se verificou nos registos da taxa de dose de radiação gama da piscina termal, quando as medições ocorreram no período de verão (E1) (Figura 5.20). Observa-se uma correlação positiva significativa apenas em intervalos de tempo até 2 horas, ou seja estamos em presença de um correlograma de curto prazo (em que a série temporal tem correlação de curto prazo). Neste caso não foi possível ajustar um modelo teórico coerente pois seria de esperar que os valores elevados do correlograma fossem seguidos por valores com tendência a ficar cada vez menores até se aproximarem de zero, o que não se verifica.

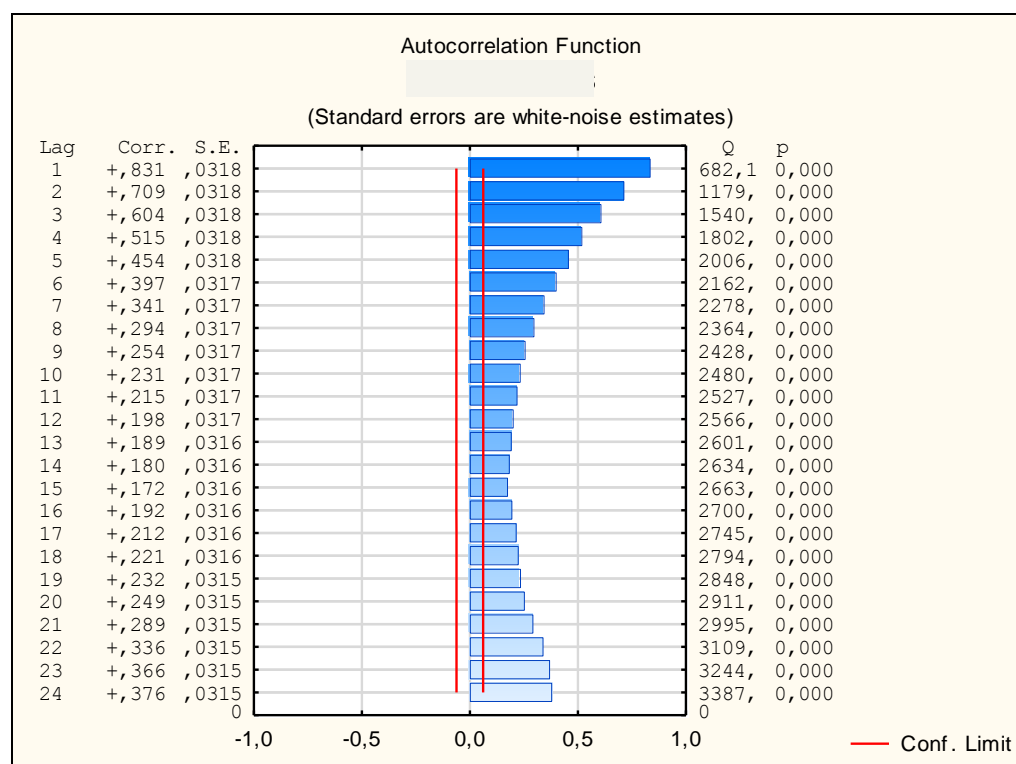


Figura 5.20 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal - verão (E1, ET3).

Durante o inverno e o verão foram também efetuadas medições da taxa de dose de radiação gama na ORL do E1. Os coeficientes da função de autocorrelação são apresentados nas Figuras 5.21 e 5.22.

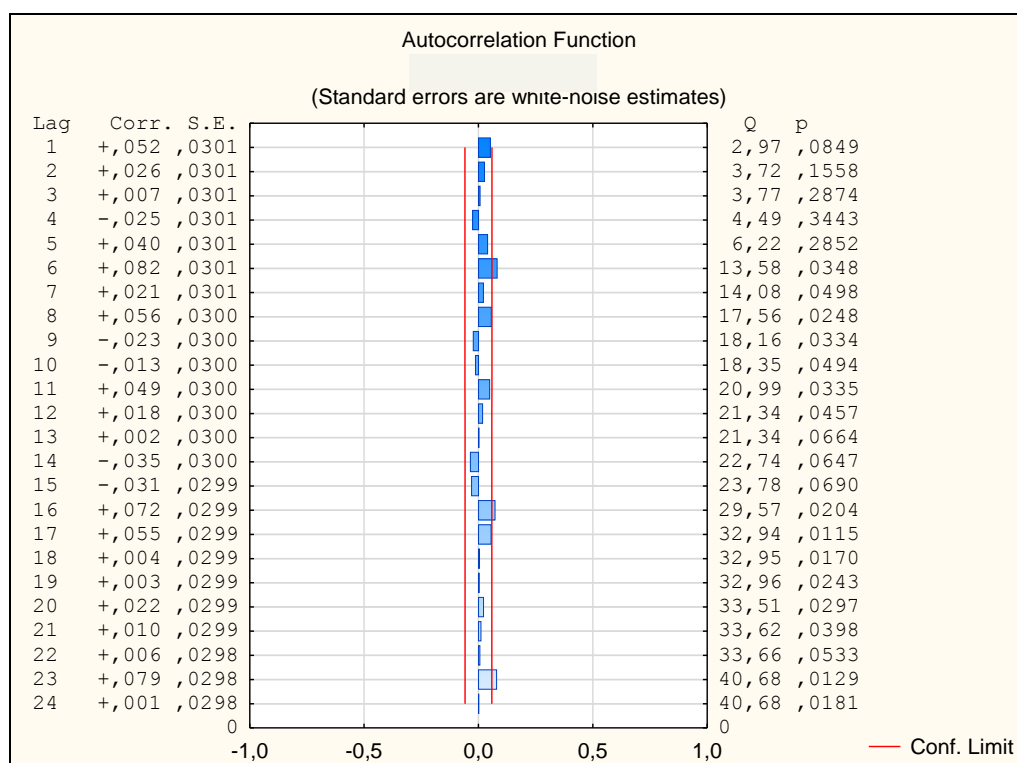


Figura 5.21 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL - inverno (E1, ET3).

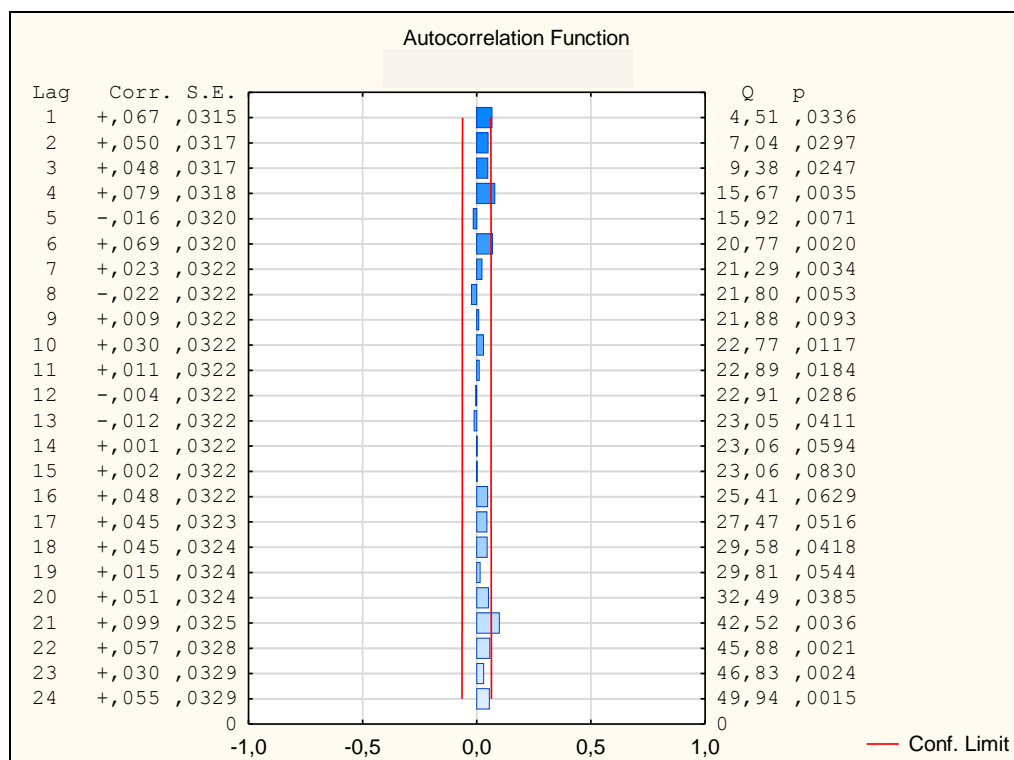


Figura 5.22 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL - verão (E1, ET3).

Verifica-se que os valores das taxas de dose de radiação gama na ORL, durante o período de inverno e de verão (E1) não apresentam qualquer tipo de correlação (o que sugere que estes

resultados são aleatórios), ao contrário do observado para a piscina termal deste edifício durante os períodos quer de inverno quer de verão.

No estabelecimento E2 foram efetuadas medições da taxa de dose de radiação gama apenas num único período na piscina coletiva e ORL, uma vez que este edifício funciona em regime sazonal.

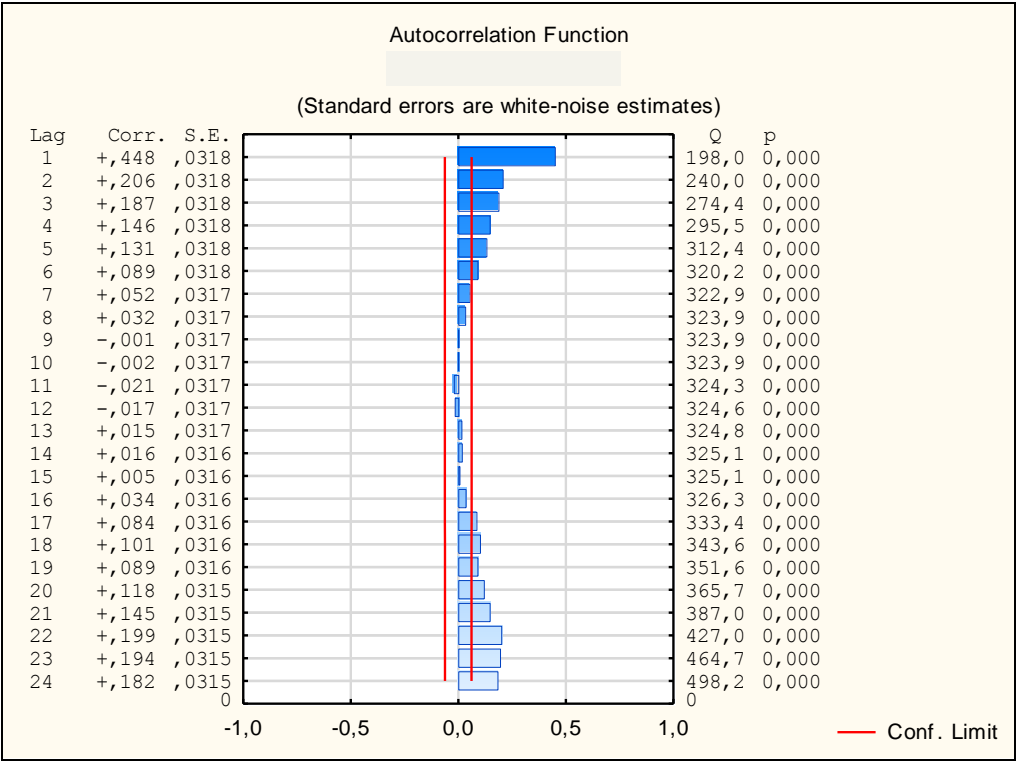


Figura 5.23 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina coletiva - verão (E2, ET3).

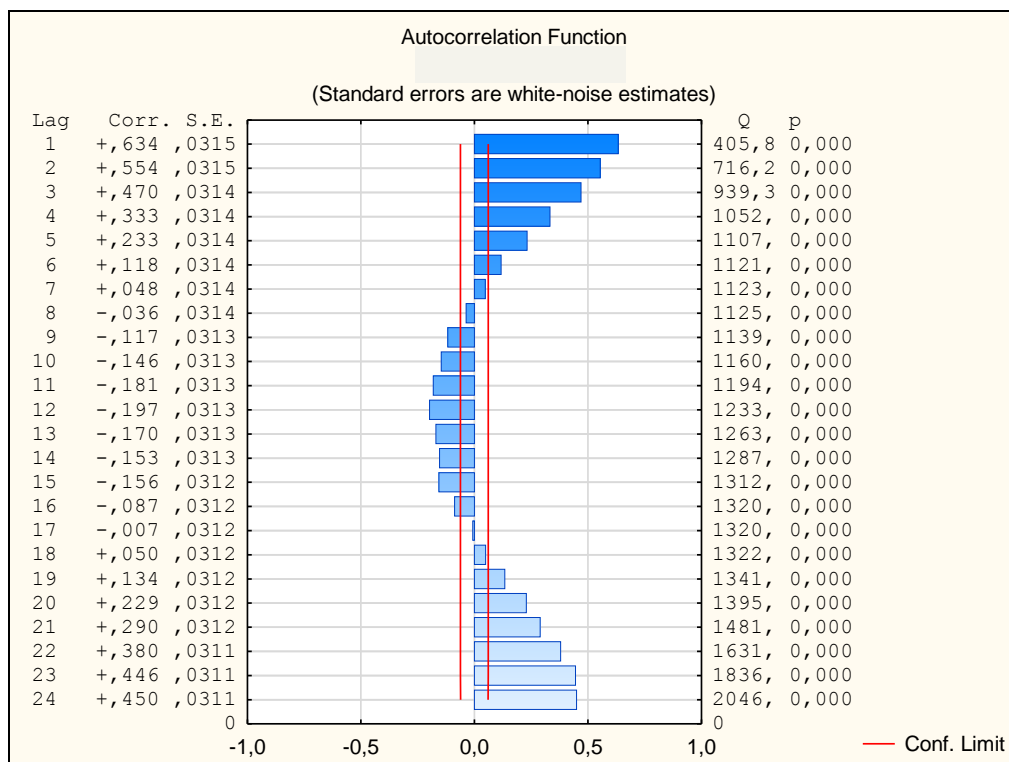


Figura 5.24 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL - verão (E2, ET3).

Os resultados dos coeficientes da função de autocorrelação na piscina coletiva e na ORL, durante o verão, no E2, também não apresentam correlação significativa para os diferentes intervalos de tempo considerados (Figura 5.23 e 5.24). No entanto, não podemos afirmar que sejam totalmente aleatórios pois para intervalos de tempo de 1 hora o coeficiente de autocorrelação é bastante próximo do valor estipulado como significativo (+ 0.640). Desta forma, ainda que não estejam correlacionados, foi possível ajustar um modelo teórico em que se verifica que todos os valores são sempre inferiores a 0.640 tendendo para o valor final de 0.2. O modelo teórico pode ser descrito pela equação:

$$y = 0.4e^{(-ax)}\text{sen}(bx + c) + 0.2 \quad \text{Eq. 6}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.002606, 0.222326 e 1.895336, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.993 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

### 5.3.4 Estimativa da dose efetiva

A dose efetiva foi estimada para a piscina termal e ORL do E1 e piscina coletiva e ORL do E2 (Tabela 5.22).



Tabela 5.22 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET3)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>Piscina termal (E1)</b>	<b>Inverno</b>	3.72	1.29	5.01
	<b>Verão</b>	1.92	1.82	3.74
	<b>Anual</b>	3.72	1.54	5.26
<b>ORL (E1)</b>	<b>Inverno</b>	2.37	0.828	3.20
	<b>Verão</b>	1.35	0.790	2.14
	<b>Anual</b>	2.37	0.405	2.78
<b>Piscina coletiva (E2)</b>	<b>Verão</b>	1.14	0.562	1.70
<b>ORL (E2)</b>	<b>Verão</b>	1.09	0.512	1.60

No ET3 a dose efetiva anual é inferior ao limite previsto na legislação nacional de 20 mSv/ano, em todos os locais considerados neste estudo. Contudo, tal como verificado anteriormente no E1, a dose efetiva anual é mais elevada, com uma magnitude de 3 a 5 vezes superior à dose efetiva estimada para o E2 (Tabela 5.22).

Verifica-se ainda que a dose efetiva anual (5.26 mSv/ano) na piscina termal do E1 é ligeiramente superior quando estimada apenas com os dados recolhidos no período de inverno (5.01 mSv/ano).

### 5.3.5 Resumo

Na Tabela 5.23 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.23 - Resumo dos resultados obtidos para o ET3

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Exterior	Furo	--	120	--	--	--
	Captação	--	86	--	--	--
R/C E1	Corredor de acesso	566	--	265	--	--
	Piscina termal Med1					
	Corredor de tratamentos Med1	692	--	235	--	--
	Duche <i>vichy</i> Med1	724	--	175	--	--
	Duche <i>vichy</i> Med2	258	--	175	--	--
	ORL 1 Med1	329	51	250	0.414	3.20
	ORL 1 Med2	187	--	250	0.790	2.14
	Piscina termal Med1	517	15	200	0.645	5.01
	Piscina termal Med2	267	--	200	0.911	3.74
R/C – E2	Duche <i>vichy</i> Med1	155	--	150	--	--
	ORL 2 Med1	152	40	150	0.512	1.60
	Piscina coletiva Med1	159	14	175	0.281	1.70
1º Piso – E2	Duche <i>vichy</i> Med1	137	--	200	--	--

Med1 refere-se à 1ª campanha de recolha de dados e Med2 refere-se à 2ª campanha.

Tal como referido anteriormente, a dose efetiva anual mais elevada corresponde à piscina termal do E1 e será devida, muito provavelmente, à concentração de radão no ar interior da piscina termal, uma vez que a taxa de dose de radiação gama não apresenta o valor mais elevado, quando comparada com a ORL. Assim sendo, presume-se que o radão terá origem predominantemente no subsolo e/ou nos materiais de construção apesar do inevitável contributo do radão presente na água termal. Por outro lado, o sistema de ventilação na piscina termal (ventilação mecânica) do E1 não parece ser suficiente para reduzir os níveis de concentração de radão no ar, enquanto na ORL, os valores da concentração de radão são aproximadamente metade dos valores da concentração de radão no ar da piscina termal, devido provavelmente à ventilação natural existente neste local.

Verifica-se ainda que os valores da estimativa da dose efetiva anual nas piscinas (termal e coletiva) em ambos os edifícios são superiores aos da dose efetiva anual nos restantes espaços. A razão para este facto deve-se ao tipo de ventilação, sendo que nas piscinas o sistema de ventilação é mecânico e na ORL o sistema de ventilação é natural.

Assim sendo, estima-se que a dose efetiva anual na área das nebulizações e duche *vichy* seja semelhante à dose efetiva anual da ORL enquanto na piscina termal este valor será aproximadamente metade. Todos os locais considerados na recolha de dados têm igualmente ventilação natural.

Por outro lado, a diminuição da concentração de radão na água da piscina termal e piscina coletiva, quando comparada com a concentração de radão no furo e na captação, deve-se ao facto de a água da piscina não ser substituída diariamente, o que provoca uma redução significativa da atividade do radão, além do tratamento a que esta água é submetida.

## 5.4 ET4

A concentração de radão no ar interior foi medida na área de vapores, duche *vichy*, nebulizações, ORL e piscina termal. A concentração de radão na água foi avaliada na ORL e nos dois furos. A taxa de dose de radiação gama foi medida na área dos vapores durante a primavera e verão (o período de funcionamento deste estabelecimento é sazonal) e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar interior e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c da habitação (Tabela 5.24).

A 1ª campanha de recolha de dados decorreu durante a primavera de 11/03/2014 a 24/04/2014 e a 2ª campanha durante o período de verão de 21/08/2014 a 30/09/2014.

Tabela 5.24 - Recolha de dados (ET4)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	11/03/2014	24/04/2014	45	21/08/2014	30/09/2014	41
CRnÁgua (Bq/L)	11/03/2014	11/03/2014	1	25/05/2015	25/05/2015	1
DRG (μSv/h)	11/03/2014	24/04/2014	45	21/08/2014	30/09/2014	41
RGT (c.p.s.)	11/03/2014	11/03/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	21/08/2014	30/09/2014	41
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	21/08/2014	21/08/2014	1

Após a finalização das duas campanhas de recolha de dados e mediante os resultados obtidos para a concentração de radão no ar interior da ORL e da piscina termal, foi decidido estender a avaliação da taxa de dose de radiação gama na ORL realizada durante o período de 25/05/2015 a 06/07/2015 (43 dias) bem como avaliar a concentração de radão na água da piscina termal (incluída na 2ª campanha da Tabela 5.24 mas realizada a 25/05/2015).

### 5.4.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior da área de vapores, duche *vichy*, nebulização, ORL e piscina termal deste estabelecimento termal, são apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 - Concentração de radão no ar interior (ET4)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Verão
R/C	Piscina termal	2	274	333
1º Piso	Área de vapores	2	453	465
	Nebulização	2	401	429
2º Piso	ORL	2	502	489
	Duche <i>Vichy</i>	2	437	495

Verificamos que 8 dos 10 resultados da concentração de radão no ar interior são superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>. Apenas a concentração de radão no ar interior da piscina termal durante a primavera apresentou valores inferiores aos limites previstos na legislação (Tabela 5.25).

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador, cujo posto de trabalho é na área de vapores, foi de 1322 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e superior ao limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>).

Por outro lado, verifica-se que a concentração de radão na habitação (1322 Bq/m<sup>3</sup>) é superior à concentração de radão no ar interior de todo o edifício deste estabelecimento termal, e em particular na área de vapores (453 e 465 Bq/m<sup>3</sup>), pelo que uma eventual exposição ao radão não será apenas ocupacional mas terá um contributo significativo da habitação.

Para a estimativa de dose de exposição interna por inalação do radão no ar interior da habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 9.52 mSv/ano, valor bastante superior ao limite de dose para o público (1 mSv/ano).

#### 5.4.2 Concentração de radão na água

Foram realizadas colheitas de água nos furos e na ORL. Os valores obtidos para a concentração de radão na água encontram-se descritos na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Concentração de radão na água (ET4)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Furo 1</b>	1	759
<b>Furo 2</b>	1	380
<b>ORL</b>	1	112

Todos os resultados da concentração de radão na água são superiores ao nível de referência **100 Bq/L** (nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM). Contudo, observa-se que a concentração de radão na água manipulada neste estabelecimento termal é bastante inferior à concentração de radão na água dos furos (Radolic et al., 2005).

#### 5.4.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Na Tabela 5.27, encontram-se representados os valores obtidos para a radiação gama total em vários locais do ET4.

Tabela 5.27 - Radiação gama total (ET4)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Corredor nebulização	100
	Piscina termal	110
1º Piso	Área de vapores	100
	ORL	125
2º Piso	Duche <i>vichy</i>	100

O valor mais elevado da radiação gama total foi registado na ORL, seguindo-se a piscina termal, apesar de em todos os locais os valores obtidos serem relativamente baixos.

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na área de vapores durante a primavera e o verão (período de funcionamento sazonal) e na ORL durante a primavera são apresentados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 - Taxa de dose de radiação gama (ET4)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
Área de vapores	Primavera	1057	0.329	0.024	0.333	0.281	0.478
	Verão	959	0.292	0.007	0.292	0.269	0.311
ORL	Primavera	1005	0.249	0.018	0.252	0.067	0.276

Em média, a taxa de dose de radiação gama na área de vapores no ET4 foi ligeiramente mais elevada na primavera ( $0.329 \mu\text{Sv/h}$ ) do que no verão ( $0.292 \mu\text{Sv/h}$ ). Contudo, a média da taxa de dose de radiação gama na ORL ( $0.249 \mu\text{Sv/h}$  na primavera) é inferior à média da taxa de dose de radiação gama na área de vapores ( $0.329$  na primavera e  $0.292 \mu\text{Sv/h}$  no verão), apesar das diferenças não serem significativas.

#### 5.4.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama para a área de vapores (AV) durante o período de verão e para a ORL durante o período da primavera, seguem uma distribuição normal, com p-values de 0.15 e 0.56, respetivamente (Figura 5.25 e 5.26).

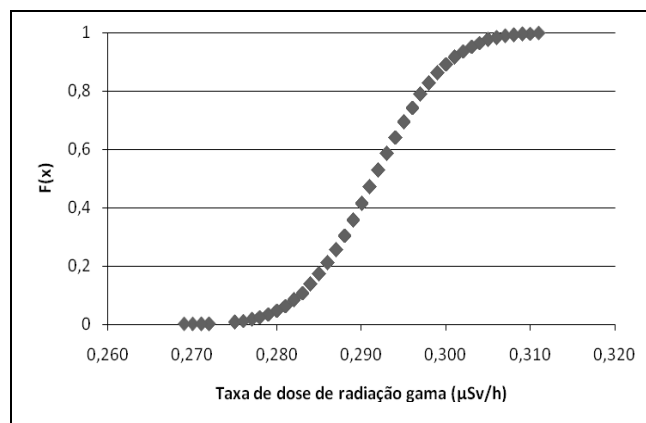


Figura 5.25 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, AV - verão (ET4).

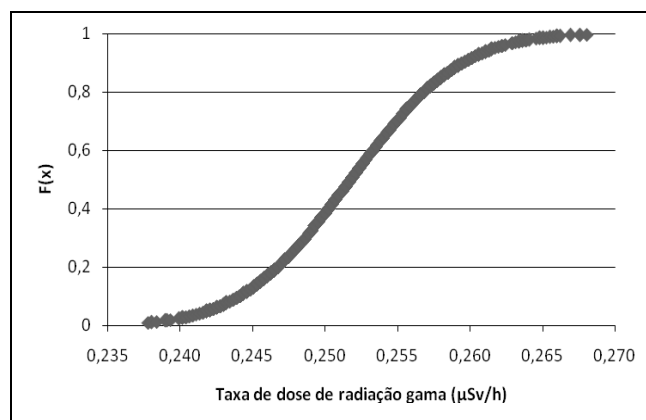


Figura 5.26 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL - primavera (ET4).

Contudo, o teste de ajuste demonstrou que os valores da taxa de dose de radiação gama na área de vapores, referentes ao período da primavera não seguem uma distribuição conhecida.

#### 5.4.3.2 Autocorrelação

Foi calculada a função de autocorrelação para os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na área de vapores (primavera e verão). Os correlogramas encontram-se representados nas Figuras 5.27 e 5.28.

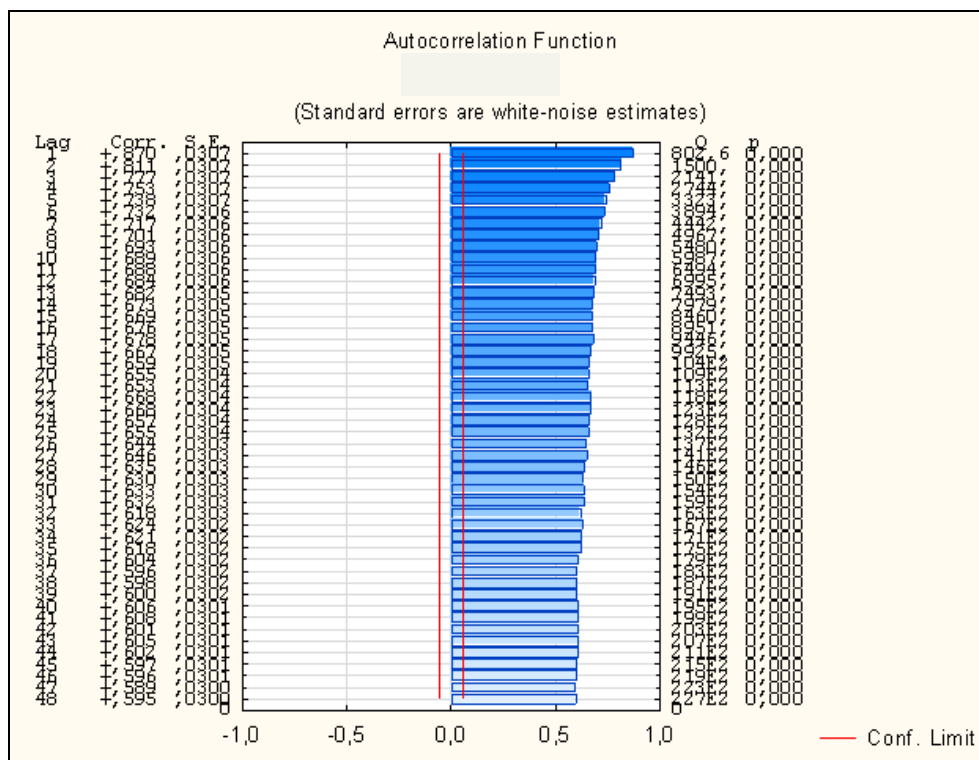


Figura 5.27 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, AV – primavera (ET4).

Os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na área de vapores durante a primavera, são altamente correlacionados em intervalos de tempo até 27 horas, sendo de esperar que valores elevados do correlograma sejam seguidos por valores com tendência a ficar cada vez menores até se aproximarem de zero. Esta variação pode ser aproximada por um modelo teórico não linear de equação:

$$y = a e^{\left(\frac{x}{b}\right)} \quad \text{Eq. 7}$$

As constantes a e b foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados tendo-se obtido os seguintes valores: 0.7600 e 166.9282, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.914 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

No entanto, verificou-se que os valores obtidos durante o período de verão não apresentam qualquer correlação para nenhum dos diferentes intervalos de tempo considerados (Figura 5.28), e por isso sugere-se que sejam aleatórios.

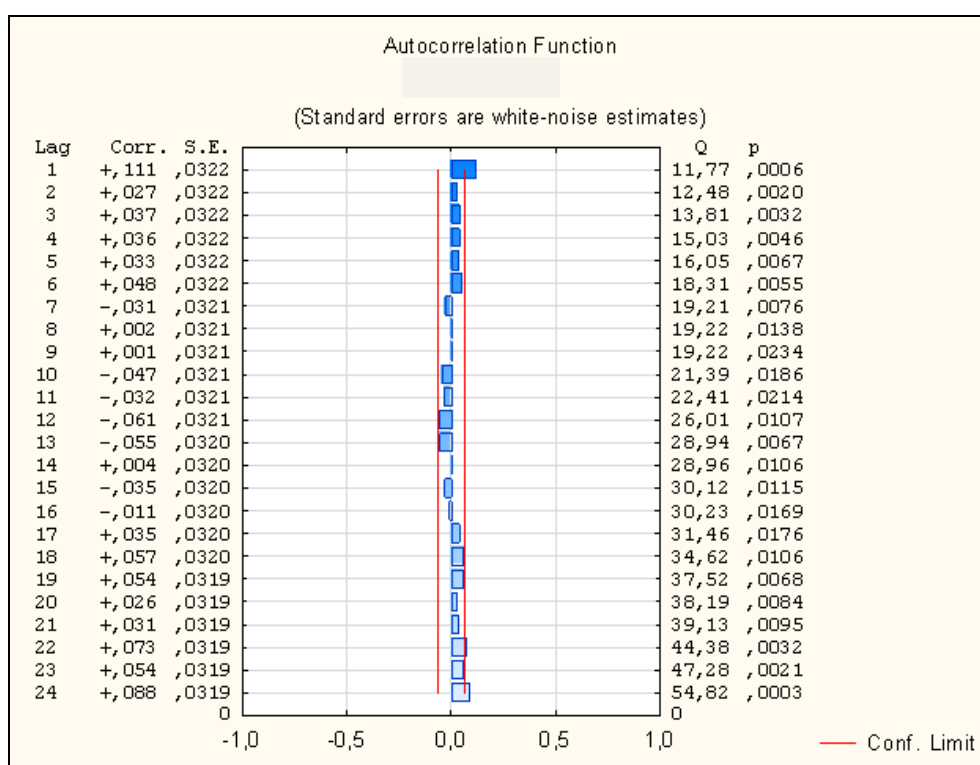


Figura 5.28 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, AV – verão (ET4).

Contudo, os dados obtidos na ORL, durante a primavera, estão fortemente correlacionados para intervalos de tempo até 4 horas (Figura 5.29).



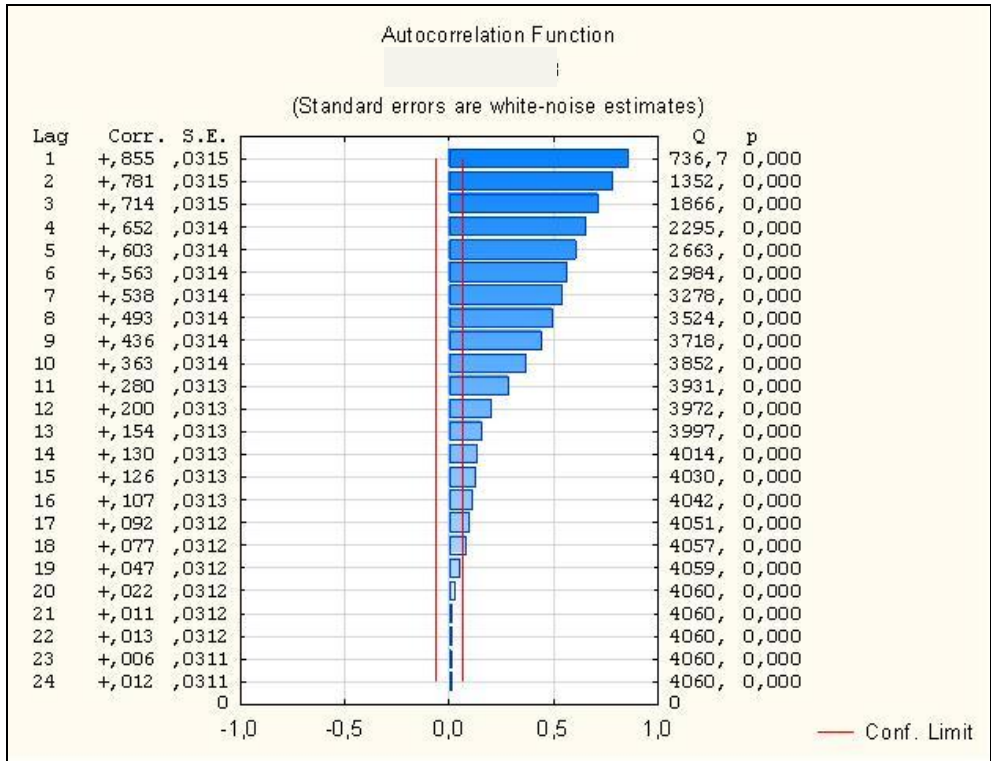


Figura 5.29 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – primavera (ET4).

Foi possível ajustar um modelo teórico a esta variação dos coeficientes de autocorrelação dado pela equação:

$$y = a e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \tag{Eq. 8}$$

As constantes a e b foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados tendo-se obtido os seguintes valores: 1.0563 e 8.0343, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.981 entre os valores observados e os valores do modelo teórico, tendendo para o valor final de zero.

5.4.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.29 encontram-se representadas as estimativas das doses de exposição e dose efetiva na área dos vapores e ORL.

Tabela 5.29 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET4)

Identificação do local		Dose interna	Dose externa	Dose efetiva anual
		(mSv/ano)	(mSv/ano)	(mSv/ano)
Área de vapores	Primavera	3.26	0.658	3.92
	Verão	3.35	0.584	3.93
	Anual	3.35	0.311	3.66
ORL	Primavera	3.61	0.498	4.11

As doses efetivas na área dos vapores e na ORL são inferiores a 20 mSv/ano (Decreto-Lei n.º 222/2008), sendo todos os valores obtidos nos dois locais, ainda que em diferentes períodos, bastante semelhantes (aproximadamente 4 mSv/ano). No entanto, a dose efetiva anual mais elevada corresponde à ORL, como seria de esperar, uma vez que os valores mais elevados da concentração de radão foram obtidos neste local.

### 5.4.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Resumo dos resultados obtidos o ET4

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Furo 1	--	759	200	--	--
	Furo 2	--	380	100	--	--
1º Piso	Nebulização	401	--	100	--	--
		429	--	100	--	--
	ORL	502	112	125	0.249	4.11
		489	--	125	--	--
	Piscina termal	274	7	110	--	--
		333	--	110	--	--
2ª Piso	Área de vapores	453	--	100	0.329	3.92
		465	--	100	0.292	3.93
	Duche <i>vichy</i>	437	--	100	--	--
		495	--	100	--	--

Como já foi referido anteriormente, a dose efetiva anual mais elevada corresponde à ORL e será devida à concentração de radão no ar interior da ORL, uma vez que a taxa de dose de radiação gama é a mais baixa, quando comparada com os restantes locais. Assim sendo, presume-se que o radão terá origem predominantemente no subsolo e/ou nos materiais de construção apesar do inevitável contributo do radão presente na água termal. Isto pode ser reforçado pelos níveis de radão no ar interior da piscina termal, muito inferiores aos níveis de radão no ar interior da ORL, assim como a concentração de radão na água da piscina termal, muito inferior à concentração de radão na água da ORL. Assim sendo, estima-se que a dose efetiva anual na área das nebulizações e duche *vichy* seja semelhante à dose efetiva anual da ORL enquanto na piscina termal este valor será aproximadamente metade. Todos os locais considerados na recolha de dados têm igualmente ventilação natural.

Verifica-se ainda uma diminuição bastante acentuada da concentração de radão na água usada neste estabelecimento termal, quando comparada com a concentração de radão nos furos. Esta diferença pode ser associada à manipulação da água (banhos, duchas e inalações) entre o furo e o local onde é usada. Por exemplo, no caso da ORL é facilmente explicado pelo facto da água estar sempre a “correr” e o radão ser transferido para o ar interior. Por outro lado, a diminuição da concentração

de radão na água da piscina termal, quando comparada com a concentração de radão nos furos, deve-se ao facto de a água da piscina não ser substituída diariamente, o que provoca uma redução significativa da atividade do radão, além do tratamento a que esta água é submetida.

## 5.5 ET5

O estabelecimento termal ET5 encontra-se aberto apenas 4 meses durante o ano, entre junho e setembro. Desta forma, as medições para recolha de dados realizaram-se durante uma única campanha que decorreu de 12/06/2014 a 22/07/2014 (1ª campanha). As medições abrangeram a concentração de radão no ar interior do duche *vichy* e da ORL, a concentração de radão na água proveniente do furo 1, do furo 2 e da ORL, a radiação gama total em todo o edifício e a taxa de dose de radiação gama na ORL (Tabela 5.31).

Foi necessário repetir a colheita de água neste estabelecimento termal em 25/09/2014 pelo facto da colheita realizada na 1ª campanha (12/06/2014) não ter chegado em tempo útil ao Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra.

Tabela 5.31 - Recolha dos dados (ET5)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	12/06/2014	12/06/2014	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	12/06/2014	22/07/2014	41
DRG (μSv/h)	12/06/2014	22/07/2014	41
RGT (c.p.s.)	12/06/2014	12/06/2014	1
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	02/12/2014	13/01/2015	43
RGT HabTb (c.p.s.)	02/12/2014	02/12/2014	1

A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador foi posterior à medição no estabelecimento termal e decorreu de 02/12/2014 a 13/01/2015, uma vez que só após o preenchimento dos questionários por parte dos trabalhadores, durante a 1ª campanha, foi possível seleccionar o trabalhador.

### 5.5.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET5 são apresentados na Tabela 5.32.

Tabela 5.32 - Concentração de radão no ar interior (ET5)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
R/C	Duche <i>vichy</i>	1	1912
	ORL	1	4335

Os valores da concentração de radão no ar interior deste estabelecimento termal são muito superiores aos limites definidos pela UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup> respetivamente. Estes valores bastante elevados devem-se às condicionantes geológicas, uma vez que este estabelecimento termal se situa numa zona predominantemente granítica e o radão terá origem muito provavelmente no subsolo (Tarim et al., 2012). Por outro lado, o edifício é um pré-fabricado em que o sistema de ventilação natural aparenta ser pouco ou nada eficaz em reduzir os níveis de radão (Pereira et al., 2001).

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador afeto à ORL do ET5 foi de 312 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) mas inferior ao valor limite de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>). Este resultado é muito inferior à concentração de radão no ar interior do ET5, 1912 Bq/m<sup>3</sup> (ORL) e 4335 Bq/m<sup>3</sup> (duche *vichy*), pelo que a eventual exposição ao radão será predominantemente ocupacional.

Para a estimativa da dose de inalação resultante da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 2.25 mSv/ano, sendo este resultado superior ao limite de dose anual para o público (1 mSv/ano).

### 5.5.2 Concentração de radão na água

A concentração de radão foi analisada na água recolhida nos furos e na ORL, conforme descrito na Tabela 5.33.

Tabela 5.33 - Concentração de radão na água (ET5)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
		Amostra 1	Amostra 2
<b>Furo 1</b>	2	6949	6775
<b>Furo 2</b>	1	5810	--
<b>ORL</b>	2	5195	5325

Foram recolhidas duas amostras de água do furo 1, uma amostra do furo 2 e duas amostras da ORL para análise, uma vez que dispnhamos de material e equipamento excedente nesta deslocação ao estabelecimento termal.

Verifica-se que todos os valores da concentração de radão na água são muito superiores ao nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, 100 Bq/L, e superiores ao limite de ação de 1000 Bq/L.

### 5.5.3 Radiação gama total e taxa de dose da radiação gama

Os resultados obtidos para a taxa de dose de radiação gama e para a radiação gama total são apresentados nas Tabelas 5.34 e 5.35.

Tabela 5.34 - Radiação gama total (ET5)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Duche <i>vichy</i>	100
	ORL	100

A radiação gama total no ET5 é de 100 c.p.s., igual em todos os compartimentos, uma vez que este estabelecimento termal é pequeno e construído em pré-fabricado (Tabela 5.34).

Os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL deste estabelecimento termal são apresentados na Tabela 5.35.

Tabela 5.35 - Taxa de dose de radiação gama (ET5)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )	N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
ORL Verão	963	0.318	0.105	0.274	0.218	0.741

A média da taxa de dose de radiação gama na ORL durante o período de funcionamento (verão) é de 0.318  $\mu\text{Sv/h}$ , sendo que os valores elevados de concentração de radão no ar interior e os valores da concentração de radão na água contribuem para este resultado.

#### 5.5.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Verificou-se que os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL durante o verão não seguem nenhuma distribuição conhecida.

#### 5.5.3.2 Autocorrelação

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET5, durante o verão, estão correlacionados, apresentando uma forma sinusóide descrevendo um movimento oscilatório sub-amortecido de amplitude máxima igual a 0.973 (Figura 5.30).

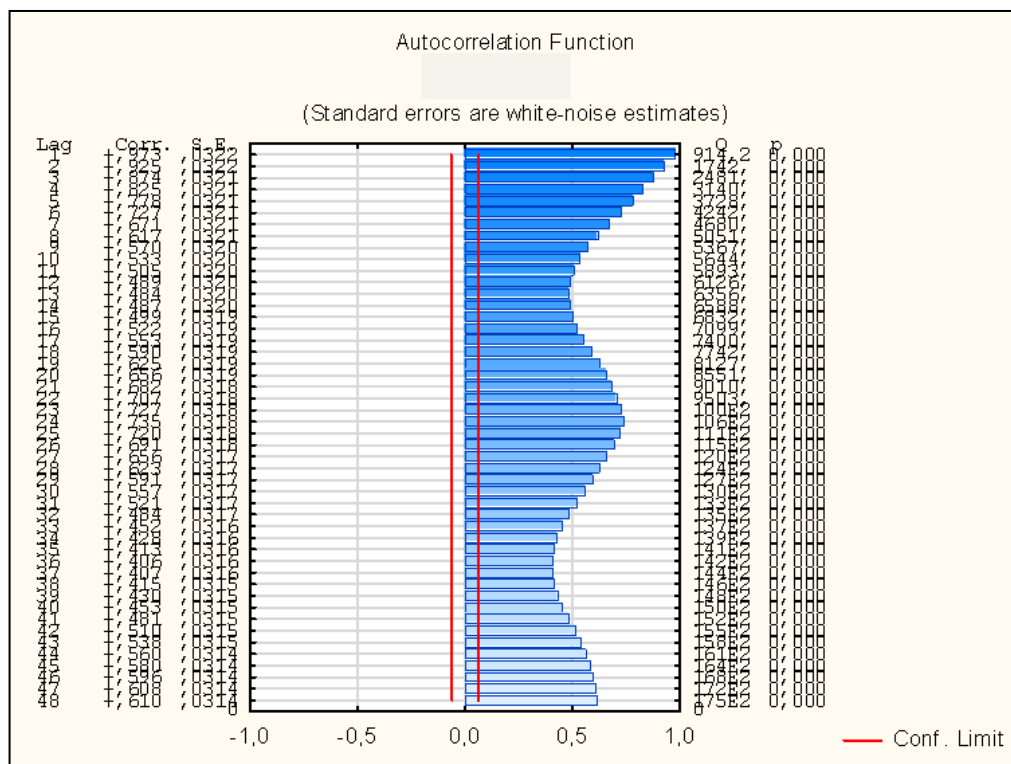


Figura 5.30 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET5).

Esta variação dos coeficientes de autocorrelação pode ser ajustada a um modelo teórico de equação:

$$y = 0.4e^{(-ax)} \text{sen}(bx + c) + 0.6 \quad \text{Eq. 9}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.050135, 0.274720 e 1.037664, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.876 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

### 5.5.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.36 são apresentados os resultados da estimativa da dose interna, da dose externa e da dose efetiva anual para a ORL, durante o verão, do ET5.

Tabela 5.36 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET5)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
ORL	Verão	31.21	0.636	31.85

Relativamente à exposição ocupacional dos trabalhadores neste estabelecimento termal, verifica-se que a dose efetiva anual no ET5 é de 31.85 mSv/ano, bastante superior à dose efetiva anual para trabalhadores classificados com a categoria A, 6 mSv/ano.

### 5.5.5 Resumo

Na Tabela 5.37 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.37 - Resumo dos resultados obtidos para o ET5

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Duche <i>vichy</i>	1912	--	100	--	--
	Furo 1	--	6949	55	--	--
		--	6775	55	--	--
	Furo 2	--	5810	45	--	--
	ORL	4335	5195	100	0.318	31.85
		--	5325	100	--	--

A elevada dose efetiva anual na ORL é devida exclusivamente à água, dada a elevada concentração do gás radão na água, a que se associa provavelmente uma deficiente ventilação (Pereira et al., 2001).

### 5.6 ET6

As medições no ET6 foram realizadas no decurso da 2ª campanha de recolha de dados, que decorreu de 21/08/2014 a 30/09/2014, uma vez que este estabelecimento termal só se juntou ao estudo na 2ª campanha.

A concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy*, piscina termal, área de vapores, cabine do spa, ORL e varanda de descanso. A concentração de radão na água foi avaliada no furo 1, furo 2, piscina termal e ORL. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante o verão (o período de funcionamento deste estabelecimento é sazonal) e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal (Tabela 5.38).

Tabela 5.38 - Recolha de dados (ET6)

Parâmetro	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	21/08/2014	21/08/2014	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	21/08/2014	30/09/2014	41
DRG (μSv/h)	21/08/2014	30/09/2014	41
RGT (c.p.s.)	21/08/2014	21/08/2014	1
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	11/12/2014	22/01/2015	43
RGT HabTb (c.p.s.)	11/12/2014	11/12/2014	1

A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador foi posterior à medição da concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal, uma vez que só após o preenchimento dos questionários por parte dos trabalhadores, foi possível selecionar o trabalhador.

### 5.6.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET6 encontram-se descritos na Tabela 5.39.

Tabela 5.39 - Concentração de radão no ar interior (ET6)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
1º Piso	Duche <i>vichy</i>	1	1163
	Piscina termal	1	2181
2º Piso	Área de vapores	1	1173
	Cabine do spa	1	878
3º Piso	ORL	1	1190
	Varanda de descanso	1	953

Os valores da concentração de radão no ar interior do ET6 apresentam um amplo intervalo de variação, entre 878 Bq/m<sup>3</sup> (varanda de descanso) e 2181 Bq/m<sup>3</sup> (piscina termal). Todos os resultados obtidos ultrapassam os limites impostos pela UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>. O valor mais elevado da concentração de radão no ar interior foi registado na piscina termal, 2181 Bq/m<sup>3</sup>, tal como esperado, uma vez que a concentração de radão tende a ser mais elevada em pisos inferiores (Ziane et al., 2014).

O valor da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador da área de vapores do ET6 foi de 1877 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e ao limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>). Por outro lado, a concentração de radão no ar interior da habitação está dentro da gama de valores da concentração de radão do estabelecimento termal, pelo que uma eventual exposição ao radão será ocupacional com um forte contributo da exposição na habitação.

A estimativa da dose anual por inalação na habitação é de 13.51 mSv/ano, sensivelmente 13 vezes superior ao limite de dose para o público (1 mSv/ano).

### 5.6.2 Concentração de radão na água

A concentração de radão na água foi medida no furo 1, furo 2 e ORL do ET6, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.40. Após a análise de alguns resultados da concentração de radão no ar interior, foi decidido fazer uma colheita de água na piscina termal.



Tabela 5.40 - Concentração de radão na água (ET6)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
		Amostra 1
<b>Furo 1</b>	1	1373
<b>Furo 2</b>	1	1334
<b>Piscina termal</b>	1	718
<b>ORL</b>	1	1137

Os valores da concentração de radão na água no ET6 são superiores a **100 Bq/L**, nível de referência previsto na Diretiva 2013/59/EURATOM, para todos os pontos de colheita, e superiores ao nível de ação (1000 Bq/L) nos furos e ORL.

### 5.6.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os resultados obtidos nas medições de radiação gama total (c.p.s.) e taxa de dose de radiação gama ( $\mu\text{Sv/ano}$ ) no ET6 são apresentados nas Tabelas 5.41 e 5.42.

Tabela 5.41 - Radiação gama total (ET6)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>1º Piso</b>	<b>Duche vichy</b>	150
	<b>Piscina termal</b>	200
<b>2º Piso</b>	<b>Área de vapores</b>	200
	<b>Cabine do spa</b>	150
<b>3º Piso</b>	<b>ORL</b>	175
	<b>Varanda de descanso</b>	175

Os valores mais elevados da radiação gama total foram registados na piscina termal (1º Piso) e área de vapores (2º Piso) (Tabela 5.41).

A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante o período de funcionamento do estabelecimento termal (verão) (Tabela 5.42).

Tabela 5.42 - Taxa de dose de radiação gama (ET6)

TDRgama (μSv/h)	N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.	
ORL	Verão	964	0.490	0.197	0.381	0.271	1.306

A média da taxa de dose de radiação gama na ORL durante o período de funcionamento (verão) é de  $0.490 \mu\text{Sv/h}$ , sendo que os valores elevados da concentração de radão no ar interior e os valores da concentração de radão na água contribuem para este resultado.

### 5.6.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Para os valores da taxa de dose de radiação gama avaliada na ORL do ET6 durante o período de funcionamento (verão), verificou-se que estes não seguem nenhuma distribuição conhecida e por isso não é apresentada qualquer distribuição.

### 5.6.3.2 Autocorrelação

Foi calculada a função de autocorrelação para os valores da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET6 (Figura 5.31).

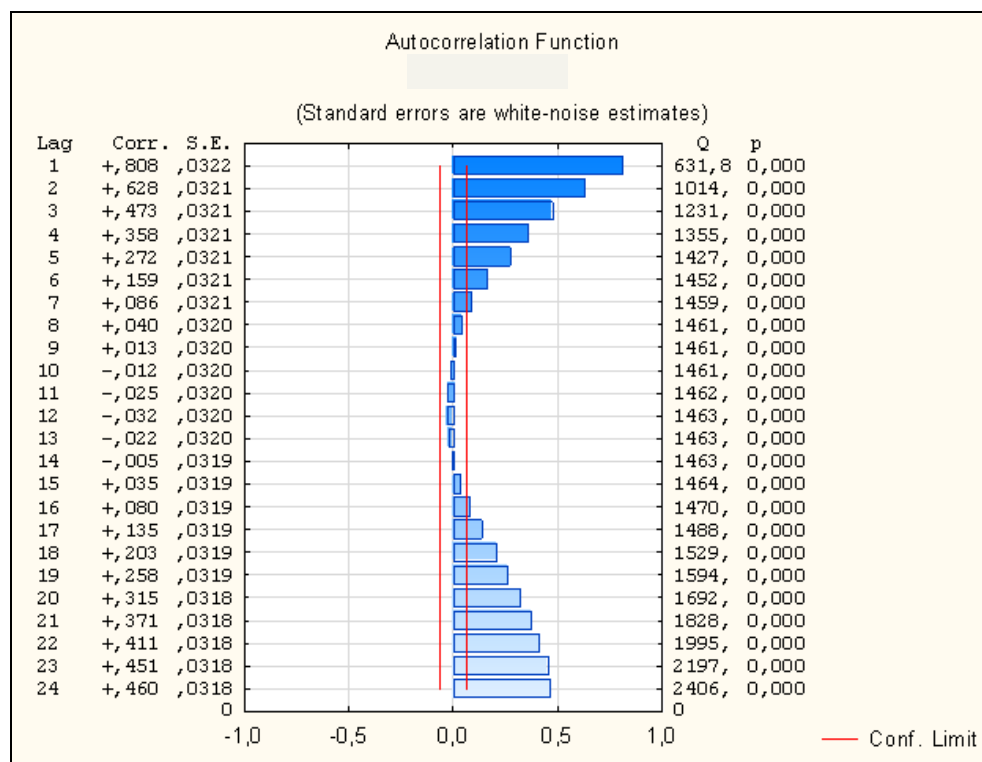


Figura 5.31 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET6).

Verifica-se uma correlação positiva forte (0.808) apenas para intervalos de 1 hora. Apesar de estarmos em presença de um correlograma de curto prazo, é possível ajustar um modelo teórico de equação:

$$y = 0.4e^{(-ax)} \text{sen}(bx + c) + 0.2 \quad \text{Eq. 10}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.029407, 0.269868 e 1.489944, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.971 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

### 5.6.4 Estimativa da dose efetiva

A estimativa da dose interna, dose externa e dose efetiva anual para a ORL do ET6 encontra-se na Tabela 5.43.

Tabela 5.43 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET6)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>ORL</b>	<b>Verão</b>	8.57	0.980	9.55

Relativamente à exposição ocupacional dos trabalhadores, verifica-se que a dose efetiva anual no ET6 é de 9.55 mSv/ano, superior ao valor limite para trabalhadores classificados com a categoria A, 6 mSv/ano, segundo a legislação comunitária e legislação nacional.

### 5.6.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.44.

Tabela 5.44 - Resumo dos resultados obtidos para o ET6

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>R/C</b>	<b>Furo 1</b>	--	1373	200	--	--
	<b>Furo 2</b>	--	1334	200	--	--
<b>1º Piso</b>	<b>Duche <i>vichy</i></b>	1163	--	150	--	--
	<b>Piscina termal</b>	2181	718	200	--	--
<b>2º Piso</b>	<b>Área de vapores</b>	1173	--	200	--	--
	<b>Cabine do spa</b>	878	--	150	--	--
<b>3º Piso</b>	<b>ORL</b>	1190	1137	175	0.490	9.55
	<b>Varanda de descanso</b>	953	--	175	--	--

Pela análise da tabela, verifica-se que na ORL a dose efetiva anual é bastante elevada. Mais uma vez presume-se o forte contributo do radão presente na água termal, dados os valores registados na água e no ar serem da mesma ordem de grandeza.

Apesar de não se ter medido a taxa de dose de radiação gama na piscina termal (1º Piso) e na área de vapores (2º Piso), prevê-se que a dose efetiva anual nestas áreas também seja elevada, tendo em consideração a concentração de radão no ar interior registada nestes locais.

### 5.7 ET7

As medições no ET7 foram realizadas no decurso da 2ª campanha de recolha de dados (agosto/outubro 2014), uma vez que este estabelecimento termal só se juntou ao estudo na 2ª campanha.

A concentração de radão no ar interior foi medida na buvette, duche *vichy*, duche jato, ORL e piscina termal. A concentração de radão na água foi avaliada na buvette, furo 1, furo 2 e nascente. A

taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante o verão e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal.

No entanto, após a análise de alguns resultados foi decidido uma nova medição para avaliar a concentração de radão na água da ORL, pelo facto de se ter obtido um valor elevado para a concentração de radão no ar interior, em 02/03/2015, tendo estas medições sido incluídas na 2ª campanha (Tabela 5.45).

Tabela 5.45 - Recolha de dados (ET7)

Parâmetro	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	22/08/2014	22/08/2014	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	22/08/2014	01/10/2014	41
DRG (μSv/h)	22/08/2014	01/10/2014	41
RGT (c.p.s.)	22/08/2014	22/08/2014	1
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	02/12/2014	13/01/2015	43
RGT HabTb (c.p.s.)	02/12/2014	13/01/2015	1

A medição da concentração de radão no ar interior da sala da habitação do trabalhador (situada no r/c da habitação), foi posterior à medição da concentração de radão no ar interior do ET7 uma vez que só após o preenchimento dos questionários por parte dos trabalhadores, aquando a sua distribuição na 2ª campanha, foi possível seleccionar o trabalhador.

### 5.7.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior da buvette, duche *vichy*, duche jato, ORL e piscina termal deste estabelecimento termal, são apresentados na Tabela 5.46.

Tabela 5.46 - Concentração de radão no ar interior (ET7)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
R/C	Buvete	1	1615
	Duche <i>vichy</i>	1	1148
	Duche jato	1	1681
1º Piso	ORL	1	366
	Piscina termal	1	423

No ET7 todos os resultados da concentração de radão no ar interior são superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>, nível de referência previsto pela UE (Diretiva 2013/59/EURATOM) e 4 dos 5 resultados da concentração de radão no ar interior são superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup>, limiar de proteção previsto na legislação nacional, Portaria n.º 353-A/2013 (Tabela 5.46).

No entanto, os valores mais elevados da concentração foram registados nos duches (*vichy* e jato) e na buvete.

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador do ET7 da área de duches foi de 168 Bq/m<sup>3</sup>, inferior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e inferior ao limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>).

Por outro lado, verifica-se que a concentração de radão na habitação (168 Bq/m<sup>3</sup>) é inferior a todos os registos da concentração de radão no ar interior do ET7, pelo que uma eventual exposição ao radão será apenas ocupacional.

Para a estimativa da dose de inalação resultante da concentração de radão no ar interior da habitação, obteve-se um valor de 1.21 mSv/ano, ligeiramente superior ao limite de dose para o público, previsto na legislação comunitária (1 mSv/ano).

### 5.7.2 Concentração de radão da água

No ET7 foram realizadas colheitas de água para determinar a concentração de radão na água da buvete, furos, nascente e ORL, conforme descrito na Tabela 5.47.

Tabela 5.47 - Concentração de radão na água (ET7)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Buvete</b>	1	471
<b>Furo 1</b>	1	1446
<b>Furo 2</b>	1	423
<b>Nascente</b>	1	478
<b>ORL</b>	1	102

Todos os resultados da concentração de radão na água do ET7 são superiores a **100 Bq/L**, nível de referência recomendado pela UE, apesar do valor registado na ORL ser muito próximo deste limite. Destaca-se a concentração de radão na água do furo 1 (1446 Bq/L) muito superior a qualquer um dos outros locais (aproximadamente três vezes mais do que a concentração de radão na água do furo 2) e superior ao limite de ação (1000 Bq/L) recomendado pela UE.

### 5.7.3 Radiação gama total e taxa da dose de radiação gama

Os resultados das medições da radiação gama total deste estabelecimento termal encontram-se na Tabela 5.48.

Tabela 5.48 - Radiação gama total (ET7)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Buvete	200
	Duche jato	275
	Duche <i>vichy</i>	275
1º Piso	ORL	150
	Piscina termal	275

Os menores valores foram registados na ORL, localizada no 1º piso, seguindo a área onde se encontra localizada a buvete. Contudo, importa referir que a buvete situa-se noutro edifício, independente da restante área do estabelecimento termal.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante o período de verão, conforme apresentado na Tabela 5.49.

Tabela 5.49 - Taxa de dose de radiação gama (ET7)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )	N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
<b>ORL</b>	<b>Verão</b>	960	0.596	0.005	0.387	1.423

A média da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET7 durante o período de funcionamento é de  $0.596 \mu\text{Sv/h}$ , sendo que os valores da concentração de radão no ar interior e os valores da concentração de radão na água contribuem para este resultado.

### 5.7.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET7, durante o verão, seguem uma distribuição normal, conforme apresentado na Figura 5.32.

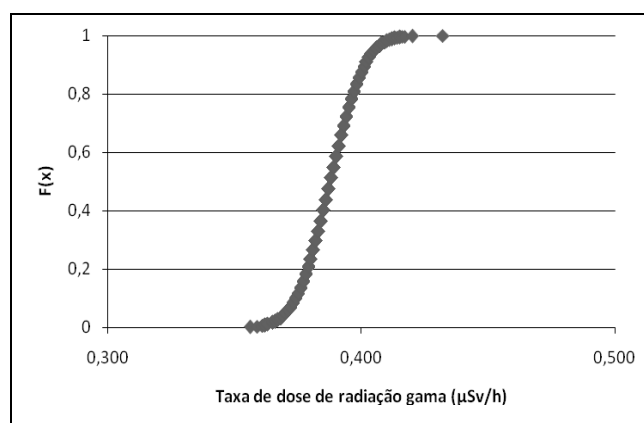


Figura 5.32 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET7).

O valor de p-value obtido no teste de K-S é de 0.14.

### 5.7.3.2 Autocorrelação

Os dados da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET7, apenas são correlacionados em intervalos de tempo de 1 hora, conforme demonstra a Figura 5.33. Sendo um correlograma de curto prazo, os valores elevados do correlograma deveriam ser seguidos por valores com tendência a ficar cada vez menores até se aproximarem de zero. Neste caso não foi possível ajustar um modelo teórico coerente, pois os valores diminuem até valores próximos de zero mas depois voltam a aumentar.

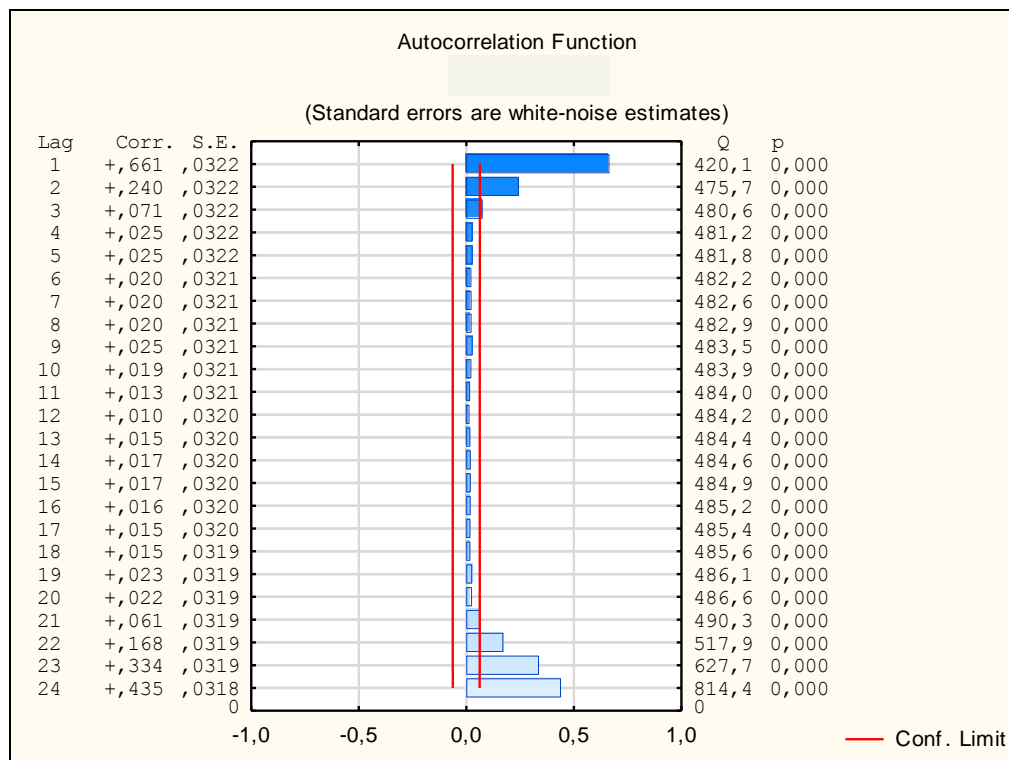


Figura 5.33 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL - verão (ET7).

### 5.7.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.50, são apresentados os resultados da dose interna, dose externa e dose efetiva anual, referentes à ORL do ET7.

Tabela 5.50 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET7)

Identificação do local		Dose interna	Dose externa	Dose efetiva anual
		(mSv/ano)	(mSv/ano)	(mSv/ano)
ORL	Verão	2.63	0.792	3.42

A dose efetiva anual na ORL durante o período de funcionamento do estabelecimento termal é de 3.42 mSv/ano, inferior ao limite de dose previsto no Decreto-Lei n.º 222/2008, 20 mSv/ano.

### 5.7.5 Resumo

Na Tabela 5.51 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.51 - Resumo dos resultados obtidos para o ET7

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Buvete	1615	471	200	--	--
	Duche jato	1681	--	275	--	--
	Duche <i>vichy</i>	1148	--	275	--	--
	Furo 1	--	1446	200	--	--
	Furo 2	--	423	200	--	--
	Nascente	--	478	250	--	--
	ORL	366	102	200	0.596	3.42
1º Piso	Piscina termal	423	--	275	--	--

Pela análise da tabela, verifica-se que a dose efetiva anual na ORL não ultrapassa o limite imposto pela legislação comunitária uma vez que os valores da concentração de radão no ar interior são próximos dos limites impostos pela UE e os valores da dose de radiação gama são relativamente baixos.

Contudo, os elevados valores de concentração de radão no ar interior registados na área dos duches (jato e *vichy*), sensivelmente 4 vezes mais do que o valor da concentração de radão no ar interior da ORL, são indicadores que a dose efetiva anual nestes locais poderia ultrapassar o limite imposto pela UE, classificando os trabalhadores desta área de categoria A.

### 5.8 ET8

As instalações do ET8 encontram-se abertas apenas 5 meses durante o ano, entre maio e setembro, pelo que as medições da concentração de radão no ar interior, concentração de radão na água, radiação gama total e taxa de dose de radiação gama realizaram-se durante uma única campanha (1ª campanha de recolha de dados) (Tabela 5.52).

A concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy* e ORL. A concentração de radão na água foi avaliada no furo e ORL. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante a primavera e verão (o período de funcionamento deste estabelecimento é sazonal) e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. A 1ª campanha de recolha de dados decorreu durante o período de verão de 22/08/2014 a 30/09/2014.



Tabela 5.52 - Recolha de dados (ET8)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	22/08/2014	22/08/2014	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	22/08/2014	30/09/2014	40
DRG (μSv/h)	22/08/2014	30/09/2014	40
RGT (c.p.s.)	22/08/2014	22/08/2014	1
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	02/03/2015	13/04/2015	43
RGT HabTb (c.p.s.)	02/03/2015	13/04/2015	43

A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador foi efetuada após as medições realizadas no estabelecimento termal (março/abril 2015), na sala, situada no r/c da habitação.

### 5.8.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do duche *vichy* e ORL, no período de verão, encontram-se descritos na Tabela 5.53.

Tabela 5.53 - Concentração de radão no ar interior (ET8)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Verão
R/C	Duche <i>vichy</i>	1	361
	ORL	1	347

No ET8 a concentração de radão no ar interior no duche *vichy* e ORL são superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>, nível de referência previsto na Diretiva 2013/59/EURATOM.

No entanto, face à legislação nacional, a concentração de radão no ar interior é inferior ao limiar de proteção, Portaria n.º 353-A/2013, 400 Bq/m<sup>3</sup>.

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de 642 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e superior ao valor limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>).

Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (642 Bq/m<sup>3</sup>) é sensivelmente duas vezes mais do que a concentração de radão no ar interior deste estabelecimento termal, pelo que a potencial exposição ao radão não será apenas ocupacional.

Para a estimativa da dose de exposição interna por inalação, resultante da concentração de radão na habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 4.62 mSv/ano, sendo quatro vezes superior ao limite da dose efetiva anual para o público (1 mSv/ano), previsto na legislação comunitária. Uma explicação plausível para este resultado deve-se à combinação de vários fatores: solo, má ventilação e matérias de construção.

### 5.8.2 Concentração de radão na água

Foram realizadas medições para determinar a concentração de radão na água do furo e da ORL do ET8, pelo que os resultados são apresentados na Tabela 5.54.

Foi feita a colheita duas amostras de água no furo para análise, uma vez que disponhamos de material e equipamento excedente nesta deslocação ao estabelecimento termal.

Tabela 5.54 - Concentração de radão na água (ET8)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
		Amostra 1	Amostra 2
<b>Furo</b>	2	57	53
<b>ORL</b>	1	44	--

Verifica-se que os valores da concentração de radão na água são bastante inferiores ao nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, 100 Bq/L.

### 5.8.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

A medição da radiação gama total foi realizada no duche *vichy* e na ORL durante o período de funcionamento deste estabelecimento termal (verão), sendo os resultados apresentados na Tabela 5.55.

Tabela 5.55 - Radiação gama total (ET8)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Duche <i>vichy</i>	175
	ORL	150

Pela análise da tabela, verifica-se que o valor da radiação gama total na ORL é ligeiramente inferior ao valor da radiação gama total no duche *vichy*.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante o período de funcionamento (verão) do ET8, pelo que os resultados são apresentados na Tabela 5.56.

Tabela 5.56 - Taxa de dose de radiação gama (ET8)

TDRgama (μSv/h)	N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.	
ORL	Verão	940	0.285	0.025	0.284	0.246	0.831

A média dos valores da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET8 é de 0.285 μSv/h, sendo que os materiais de construção contribuem para este resultado.

#### 5.8.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET8, durante o verão seguem uma distribuição normal, conforme apresentado na Figura 5.34.

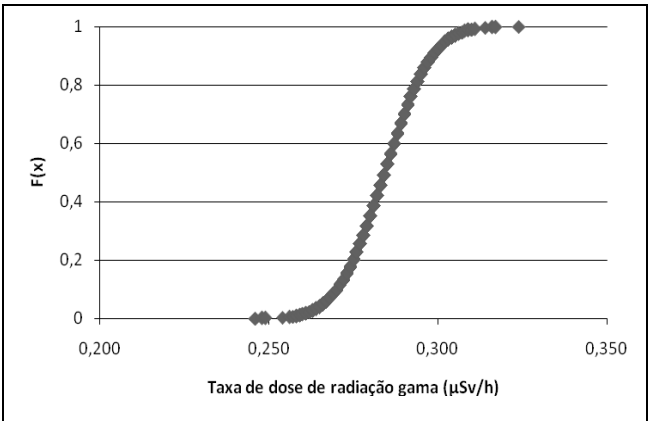


Figura 5.34 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET8).

O valor de p-value obtido através do teste de K-S é de 0.10.

5.8.3.2 Autocorrelação

Os dados obtidos para a taxa de dose de radiação gama da ORL no ET8 não são correlacionados (Figura 5.35), o que contraria o esperado, pelo que sugere que estes resultados são aleatórios.

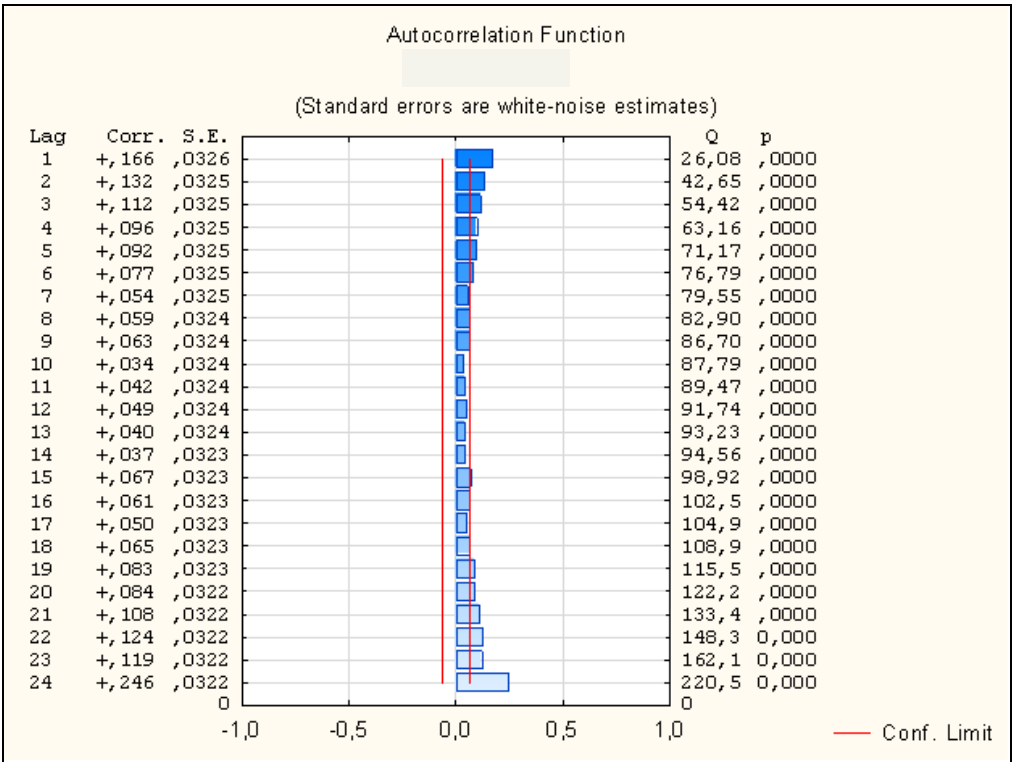


Figura 5.35 - Coeficiente da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET8).

5.8.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.57 são apresentados a estimativa da dose interna, dose externa e dose efetiva anual para o ET8.

Tabela 5.57 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET8)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>ORL</b>	<b>Verão</b>	2.50	0.570	3.07

Verifica-se que a dose efetiva anual é inferior aos limites de dose previstos no Decreto-Lei n.º 222/2008, 20 mSv/ano.

## 5.8.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.58.

Tabela 5.58 - Resumo dos resultados para o ET8

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>R/C</b>	<b>Duche <i>vichy</i></b>	361	--	175	--	--
		--	57	250	--	--
	<b>Furo</b>	--	53	250	--	--
	<b>ORL</b>	347	44	150	0.285	3.07

A dose efetiva anual registada na ORL deve-se à elevada concentração de radão no ar interior e dado o valor semelhante registado no duche *vichy*, a dose efetiva será da mesma ordem de grandeza. Mais uma vez os níveis de radão terão origem nos materiais de construção e/ou subsolo deste estabelecimento termal, uma vez que a concentração de radão na água é residual para todos os pontos analisados.

## 5.9 ET9

Foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy* e ORL. A concentração de radão na água foi avaliada no duche *vichy*, furo e ORL. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar interior e da radiação gama total na sala, sendo que a habitação se situa no 1º piso de um prédio.

As medições realizaram-se em duas campanhas de recolha de dados para todas as variáveis com exceção da radiação gama total, da concentração de radão na água e concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (Tabela 5.59). A primeira campanha foi considerada como tendo sido realizada na primavera (de 16/05/2014 a 27/06/2015) e a segunda como tendo sido realizada no outono (18/09/2010 a 31/10/2014).

Tabela 5.59 - Recolha de dados (ET9)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	16/05/2014	16/05/2014	1	--	--	--
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	16/05/2014	27/06/2014	43	18/09/2014	31/10/2014	44
DRG (µSv/h)	16/05/2014	27/06/2014	43	24/09/2014	31/10/2014	38
RGT (c.p.s.)	16/05/2014	16/05/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	18/09/2014	31/10/2014	44
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	18/09/2014	18/09/2014	1

Na segunda campanha de recolha de dados existe um ligeiro desfasamento entre as medições da concentração de radão no ar interior e a taxa de dose de radiação gama, uma vez que não tínhamos medidor da taxa de dose disponível.

### 5.9.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET9 encontram-se descritos na Tabela 5.60.

Tabela 5.60 - Concentração de radão no ar interior (ET9)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Outono
R/C	Duche <i>vichy</i>	2	376	360
	ORL	2	169	143

Pela análise da tabela observa-se que os valores da concentração de radão no ar interior do duche *vichy*, para ambos os períodos (primavera e outono) são superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>, nível de referência previsto na Diretiva 2013/59/EURATOM. Contudo, nenhum dos resultados ultrapassa o limiar de proteção previsto na Portaria n.º 353-A/2013, 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Verifica-se ainda que os valores da concentração de radão no ar interior são ligeiramente superiores na primavera, o que contraria o esperado. Uma das razões plausíveis para este facto deve-se à necessidade de abrir as janelas para ventilação do local pelo elevado número de utentes que frequentam o estabelecimento termal na época baixa (setembro/outono). Pela consulta das distribuições mensais de inscrição no estabelecimento termal, verificou-se que no mês de maio e junho (período da primavera) o número de inscritos foi de 150 utilizadores, enquanto nos meses de setembro e outubro (período de outono), o número de inscritos foi ligeiramente superior (180 utilizadores).

A concentração de radão medida no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de 105 Bq/m<sup>3</sup> inferior ao valor limite da UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>, respetivamente. Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (105 Bq/m<sup>3</sup>) é inferior à concentração de radão no ar interior deste

estabelecimento termal, nomeadamente no posto de trabalho do duche *vichy* (376 e 360 Bq/m<sup>3</sup>), pelo que a potencial exposição ao radão será apenas ocupacional.

A estimativa de dose por inalação, resultante maioritariamente da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador, foi de 0.756 mSv/ano, inferior ao limite de dose efetiva anual para o público (1 mSv/ano), previsto na legislação comunitária.

### 5.9.2 Concentração de radão na água

No ET9 foram realizadas 3 colheitas de água distribuídas pelo duche *vichy*, furo e ORL para determinar a concentração de radão na água, conforme apresentado na Tabela 5.61.

Tabela 5.61 - Concentração de radão na água (ET9)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
Duche <i>vichy</i>	1	45
Furo	1	41
ORL	1	75

Todos os resultados da concentração de radão na água são inferiores a 100 Bq/L, nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM.

### 5.9.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Foram efetuadas medições da radiação gama total (c.p.s.) e da taxa de dose (µSv/h) no duche *vichy* e ORL deste estabelecimento termal. Os resultados são apresentados nas Tabelas 5.62 e 5.63.

Tabela 5.62 - Radiação gama total (ET9)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Duche <i>vichy</i>	200
	ORL	150

O valor mais elevado, para a radiação gama total, foi registado no duche *vichy*.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante a primavera e o outono (Tabela 5.63).

Tabela 5.63 - Taxa de dose de radiação gama (ET9)

TDRgama (μSv/h)		N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
ORL	Primavera	1013	0.417	0.046	0.412	0.190	1.137
	Outono	6	0.442	--	0.423	0.360	0.552

A medição da taxa de dose de radiação gama realizada durante o outono no ET9, decorreu em períodos de 7 dias ao longo de 44 dias em vez de períodos de leitura de 1 hora, contrariamente ao

definido na metodologia, o que resultou em 6 valores apenas para todo o período de medição (44 dias). O motivo desta alteração deve-se ao facto do medidor da taxa de dose ter vindo de reparação e os parâmetros de medição pré-definidos terem sido alterados.

Em média, o valor da taxa de dose de radiação gama na ORL do ET9 é ligeiramente superior no outono, não sendo esta diferença minimamente significativa.

### 5.9.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

O ajuste a uma distribuição conhecida (neste caso, uma distribuição log-normal) apenas foi possível para os dados da taxa de radiação gama obtidos na ORL durante o outono. A respetiva função cumulativa encontra-se representada na Figura 5.36. Os valores negativos registados no eixo dos xx (taxa de dose de radiação gama), resultam da transformação logarítmica dos valores medidos que neste caso, são todos inferiores a 1. Uma forma de evitar os números negativos seria usar outra unidade temporal em vez de  $\mu\text{Sv}$  por hora ( $\mu\text{Sv/h}$ ), como por exemplo ( $\mu\text{Sv/d}$ ). No entanto, optou-se por usar a unidade lida diretamente pelo equipamento (GS3).

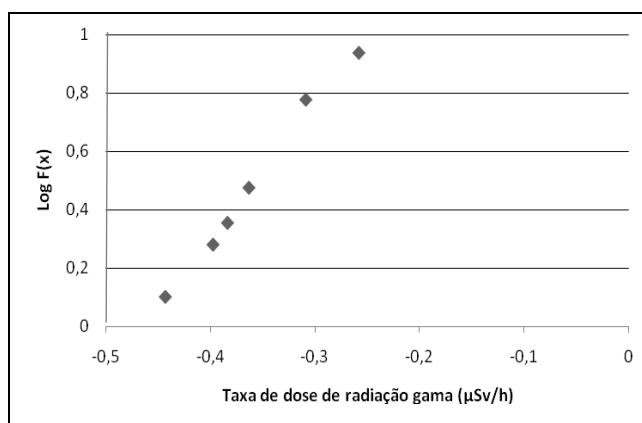


Figura 5.36 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL – outono (ET9).

Os valores da taxa de dose de radiação gama na ORL (apenas foram obtidos 6 valores) do ET9 seguem uma distribuição log-normal, tendo-se obtido um p-value de 0.90.

### 5.9.3.2 Autocorrelação

A função de autocorrelação foi calculada para a ORL, durante o período de outono, conforme Figura 5.37.

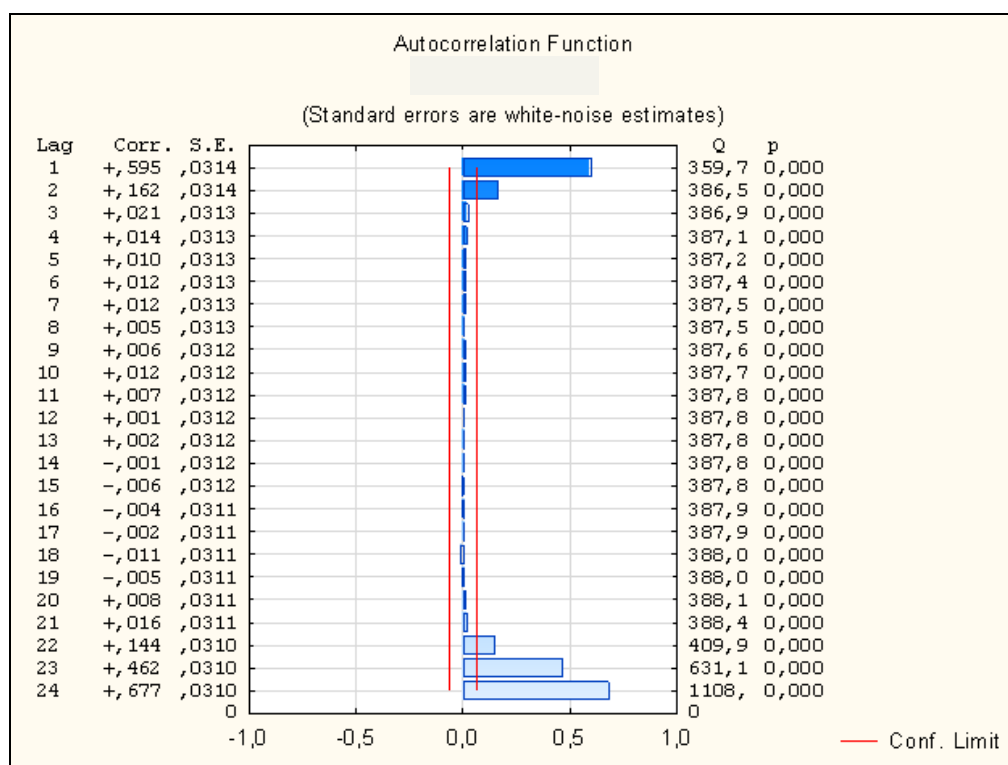


Figura 5.37 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – outono (ET9).

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na ORL, durante o outono, são correlacionados em intervalos de tempo de 24 horas. No entanto, estes resultados devem ser considerados com algumas reservas dado o número reduzido de dados, referentes a leituras com a periodicidade de 7 dias.

### 5.9.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.64, são apresentados os resultados da estimativa da dose de exposição interna por inalação do radão, a dose de exposição externa por irradiação gama e a dose efetiva anual resultante destas duas componentes.

Tabela 5.64 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET9)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
ORL	Primavera	1.22	0.834	2.05
	Outono	1.03	0.884	1.91
	Anual	1.22	0.834	2.05

Observa-se que a dose efetiva anual na ORL do ET9 varia entre 1.91 e 2.05 mSv/ano, pelo que os trabalhadores desta área devem ser classificados como trabalhadores de categoria B, uma vez que a dose efetiva anual é inferior a 6 mSv/ano.



### 5.9.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.65.

Tabela 5.65 - Resumo dos resultados obtidos para o ET9

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Duche <i>vichy</i>	376	45	200	--	--
		360	--	200	--	--
	Furo	--	41	100	--	--
	ORL	169	75	150	0.417	2.05
		143	--	150	0.442	1.91

Pela análise da tabela, verificamos que a dose efetiva anual na ORL encontra-se dentro dos limites de dose previstos no Decreto- Lei n.º 222/2008, uma vez que os resultados da concentração de radão no ar interior na ORL são inferiores ao nível de concentração de radão no ar interior previsto pela UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>).

Por outro lado, os resultados da concentração de radão no ar interior do duche *vichy* são aproximadamente o dobro dos resultados da concentração de radão no ar interior da ORL, pelo que a dose efetiva anual neste local será superior à dose efetiva anual na ORL. No entanto, em ambos os casos, os trabalhadores são classificados com a categoria B.

Os valores da concentração de radão no ar obtidos no duche *vichy* devem-se essencialmente ao sistema de ventilação natural existente no estabelecimento termal, que não parece ser o mais eficiente para reduzir os níveis de radão.

### 5.10 ET10

A primeira campanha de recolha de dados coincidiu com o período de primavera (11/03/2014 a 24/04/2014) e a segunda com o período de outono (13/10/2014 a 24/11/2014). Na primeira campanha as medições foram realizadas num período de tempo inferior (32 dias). Posteriormente, na segunda campanha foi decidido aumentar o tempo de medição (43 dias), por motivos de consistência e de representatividade dos dados.

A concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy*, ORL e piscina termal. A concentração de radão na água foi avaliada nos três furos. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante a primavera e outono e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar interior e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c da habitação.

A recolha de dados no ET10 foi feita de acordo com a Tabela 5.66:

Tabela 5.66 - Recolha de dados (ET10)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	11/03/2014	11/03/2014	1	25/05/2015	25/05/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	11/03/2014	24/04/2014	32	13/10/2014	24/11/2014	43
DRG (μSv/h)	11/03/2014	24/04/2014	32	13/10/2014	24/11/2014	43
RGT (c.p.s.)	11/03/2014	11/03/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	13/10/2014	24/11/2014	43
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	13/10/2014	13/10/2014	1

Após a finalização das duas campanhas de recolha de dados e mediante os resultados obtidos para a concentração de radão no ar interior da ORL e piscina termal, foi decidido avaliar a concentração de radão na água da ORL e da piscina termal (incluída na 2ª campanha da Tabela 5.66 mas realizada a 25/05/2015).

### 5.10.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET10 encontram-se na Tabela 5.67.

Tabela 5.67 - Concentração de radão no ar interior (ET10)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Outono
3º Piso	Duche <i>vichy</i>	2	406	229
	ORL	2	169	269
	Piscina termal	2	121	204

No ET10, 5 dos 6 resultados da concentração de radão no ar interior são inferiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>, nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>).

Apenas no caso no duche *vichy*, o valor obtido para a concentração de radão durante a primavera, foi superior a 400 Bq/m<sup>3</sup>, limiar de proteção previsto na legislação nacional.

Por outro lado, verifica-se que os valores da concentração de radão no ar interior na ORL são superiores no outono comparado com os valores na primavera, tal como esperado.

Foi medida a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador afeto à ORL do ET10, durante o período de outono, cujo resultado foi 714 Bq/m<sup>3</sup>, superior aos níveis de referência e limiar de proteção previstos da UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>. A eventual exposição ao radão não será apenas ocupacional, uma vez que a contribuição da exposição na habitação é significativa.

A estimativa da dose de inalação resultante da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador foi de 5.14 mSv/ano, cinco vezes superior ao limite de dose definido para o público (1 mSv/no).

### 5.10.2 Concentração de radão na água

A concentração de radão na água do ET10 foi avaliada no furo 1, furo 2, furo 3, ORL e piscina termal, conforme descrito na Tabela 5.68.

Tabela 5.68 - Concentração de radão na água (ET10)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Furo 1</b>	1	47
<b>Furo 2</b>	1	48
<b>Furo 3</b>	1	50
<b>ORL</b>	1	20
<b>Piscina termal</b>	1	1

Pela análise da tabela, observa-se que todos os valores da concentração de radão na água no ET10 são muito inferiores a 100 Bq/L, nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM.

### 5.10.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os valores da radiação gama total no ET10 encontram-se descritos na Tabela 5.69.

Tabela 5.69 - Radiação gama total (ET10)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>3º Piso</b>	<b>Duche <i>vichy</i></b>	100
	<b>ORL</b>	100
	<b>Piscina termal</b>	125

Toda a atividade termal neste estabelecimento termal desenvolve-se no 3º piso. O valor mais elevado da radiação gama total foi registado na piscina termal, não diferindo, no entanto, significativamente dos restantes.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal durante o período de primavera e outono, conforme demonstra a Tabela 5.70.

Tabela 5.70 - Taxa de dose de radiação gama (ET10)

TDRgama (µSv/h)		N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
Piscina termal	Primavera	1058	0.551	0.281	0.473	0.206	1.387
	Outono	983	0.286	0.007	0.286	0.265	0.309

Em média, a taxa de dose de radiação gama na piscina termal foi bastante mais elevada na primavera ( $0.551 \mu\text{Sv/ano}$ ) do que no outono ( $0.286 \mu\text{Sv/ano}$ ).

### 5.10.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores para a taxa de dose de radiação gama na piscina termal, obtidos durante a primavera, não seguem nenhuma distribuição conhecida.

No entanto, o teste de ajuste demonstrou que os valores da taxa de dose de radiação gama na piscina termal referentes ao período do outono, seguem uma distribuição log-normal (Figura 5.38). Os valores negativos registados no eixo dos xx (taxa de dose de radiação gama), resultam da transformação logarítmica dos valores medidos que neste caso, são todos inferiores a 1.

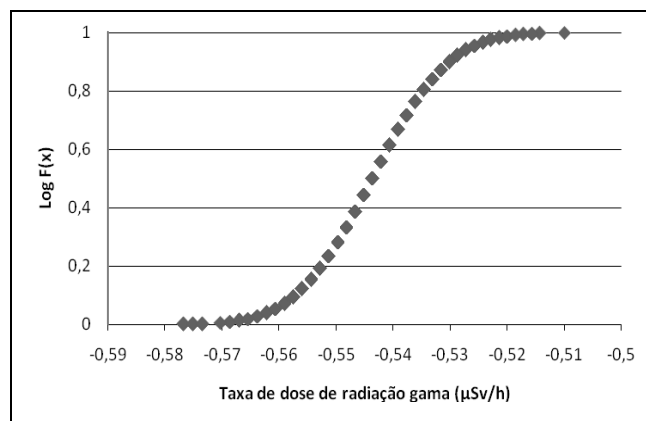


Figura 5.38 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – outono (ET10).

O valor p-value obtido através do teste K-S é de 0.14.

### 5.10.3.2 Autocorrelação

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na piscina termal do ET10, durante a primavera, estão correlacionados até intervalos de 6 horas (Figura 5.39), apresentando a forma senoide com movimento oscilatório sub-amortecido (amplitude máxima igual a 0.966).

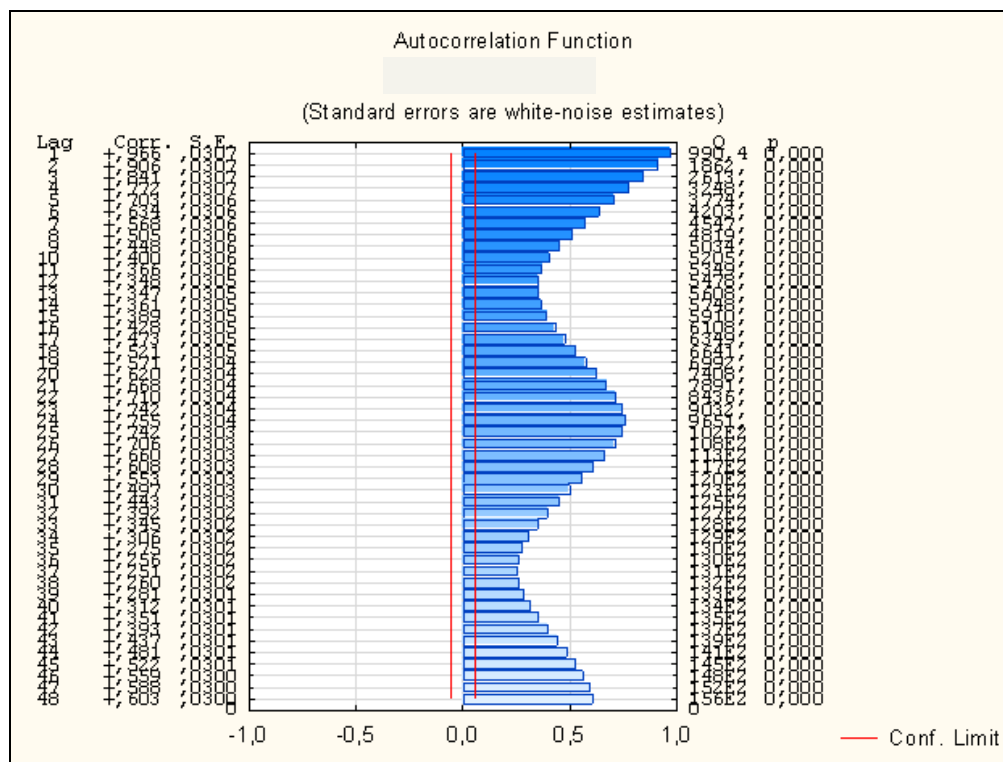


Figura 5.39 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina - primavera (ET10).

Esta variação dos coeficientes de autocorrelação pode ser ajustada a um modelo teórico de equação:

$$y = 0.5e^{(-ax)} \sin(bx + c) \quad \text{Eq. 11}$$

As constantes  $a$ ,  $b$  e  $c$  foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.02618, 0.261799 e 1.570796, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.88 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

O mesmo comportamento não se verifica para as medições da taxa de dose de radiação gama efetuadas na piscina termal durante o outono, em que os dados não são correlacionados (Figura 5.40), pelo que se sugere que são aleatórios.

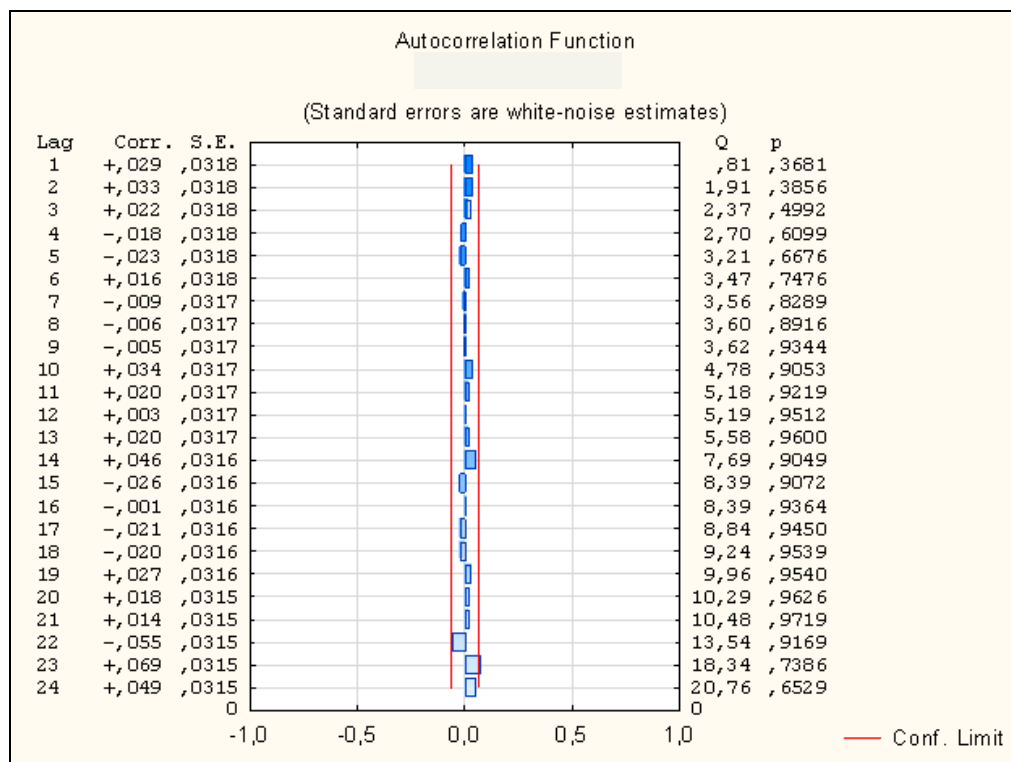


Figura 5.40 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina – outono (ET10).

#### 5.10.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.71 são apresentados os resultados da estimativa da dose interna, da dose externa e dose efetiva anual para a piscina termal, durante a primavera e o outono, do ET10.

Tabela 5.71 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET10)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Piscina termal	Primavera	0.871	1.10	1.97
	Outono	1.47	0.572	2.04
	Anual	1.47	0.846	2.32

No ET10 a dose efetiva anual na piscina termal é inferior ao limite de dose previsto do Decreto-Lei n.º 222/2008, 20 mSv/ano. Contudo, a dose efetiva no período do outono é praticamente igual à dose efetiva no período da primavera, apesar dos valores serem bastante diferentes da concentração de radão no ar interior e de taxa de radiação gama na piscina termal durante estes dois períodos. A dose externa é sensivelmente o dobro no período da primavera, quando comparada com o período de outono.

#### 5.10.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.72.

Tabela 5.72 - Resumo dos resultados obtidos para o ET10

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Furo 1	--	47	150	--	--
	Furo 2	--	48	145	--	--
	Furo 3	--	50	150	--	--
3º Piso	Duche <i>vichy</i>	406	--	100	--	--
		229	--	100	--	--
	ORL	169	20	100	--	--
		269	--	100	--	--
	Piscina termal	121	1	125	0.551	1.97
		204	--	125	0.286	2.04

Pela análise da Tabela 5.72, verificamos que a dose efetiva anual na piscina termal é ligeiramente mais elevada durante o outono, devido à concentração de radão no ar interior, pois a taxa de dose de radiação gama é bastante menor durante este período. Isto sugere, neste caso em particular, uma variação proporcionalmente inversa da concentração do radão no ar interior e a taxa de dose de radiação gama na piscina termal, durante os dois períodos de medição (ao menor valor da concentração de radão corresponde o maior valor de taxa de dose na primavera e ao maior valor da concentração de radão corresponde o menor valor de taxa de dose no outono).

## 5.11 ET11

Foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar foi medida na casa das máquinas, corredor de acesso à piscina termal, piscina termal e piscina lúdica. A concentração de radão na água foi avaliada no furo e na ORL. A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal e piscina lúdica e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no 1º andar da habitação.

Foram efetuadas duas campanhas de recolha de dados para todas as variáveis com exceção da radiação gama total, da concentração de radão água e concentração de radão na habitação do trabalhador.

Estas duas campanhas foram identificadas como tendo sido realizadas no outono decorrendo de 25/11/2013 a 20/12/2013 e de 16/10/2014 a 26/11/2014, por motivos de avaria do equipamento de medição da taxa de dose de radiação gama.

Na primeira campanha foram feitas colheitas de amostras de água para determinação da concentração de radão, foi feita a medição da radiação gama total e mediação da taxa de dose de radiação gama durante um período de 33 dias em simultâneo com a medição da concentração de radão no ar interior.

Na segunda campanha repetiram-se as medições da concentração de radão no ar interior e da taxa de dose de radiação gama no estabelecimento termal durante um período de 43 dias. A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador decorreu em simultâneo a estas duas medições (Tabela 5.73). A medição da radiação gama total foi feita na deslocação à habitação do trabalhador para colocar o detetor passivo CR39 (medição da concentração de radão no ar interior pelo período de 42 dias).

Tabela 5.73 - Recolha de dados (ET11)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	25/11/2013	25/11/2013	1	07/04/2015	07/04/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	25/11/2013	20/12/2013	33	16/10/2014	26/11/2014	42
DRG (μSv/h)	25/11/2013	20/12/2013	33	16/10/2014	26/11/2014	42
RGT (c.p.s.)	25/11/2013	25/11/2013	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	16/10/2014	26/11/2014	42
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	16/10/2014	16/10/2014	1

Além das medições realizadas nas duas campanhas, houve a necessidade de fazer uma nova medição da taxa de dose de radiação gama, entre 07/04/2015 a 18/05/2015 (41 dias) na piscina termal do ET11, uma vez que o medidor da taxa de dose de radiação gama avariou ao longo das medições da 2ª campanha e não foi possível recuperar os dados. Esta medição foi identificada como tendo sido realizada na primavera.

Foi ainda decidido efetuar uma medição da concentração de radão no ar interior da ORL, que decorreu durante a primavera, entre 07/04/2015 e 18/05/2015 (42 dias) (uma vez que é um local de permanência do trabalhador) e uma colheita de água na piscina termal para avaliar a concentração de radão na água, a 07/04/2015 (pelo facto de se ter obtido valores elevados para concentração de radão no ar interior).

### 5.11.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET11 encontram-se descritos na Tabela 5.74.

Tabela 5.74 - Concentração de radão no ar interior (ET11)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )		
			Inverno	Outono	Primavera
R/C	Casa das máquinas	2	481	305	--
	Corredor acesso à piscina termal	2	641	209	--
	Piscina termal	2	618	358	--
1º Piso	Piscina lúdica	2	1079	377	--
	ORL	1	--	--	255



Pela análise da tabela, verifica-se que 7 dos 9 resultados da concentração de radão no ar interior são superiores ao nível de referência previsto pela UE, 300 Bq/m<sup>3</sup>. No entanto, face à legislação nacional, apenas 44% dos resultados da concentração de radão são superiores ao limiar de proteção, 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Verifica-se ainda que todos os valores da concentração de radão no ar interior durante o período de inverno são superiores aos valores da concentração de radão no ar interior durante o outono, tal como o esperado (Ziane et al., 2014).

Em particular, a concentração de radão no ar interior da piscina lúdica corresponde ao valor mais elevado, 1079 Bq/m<sup>3</sup>. A afluência do público a este local foi de zero nos meses de novembro e dezembro de 2013, pelo que possivelmente, o sistema de ventilação mecânico possa ter estado desligado.

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador, cujo posto de trabalho é na área administrativa, foi de 4051 Bq/m<sup>3</sup>, bastante superior à concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal, e superior aos limites previstos na UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup> respetivamente, pelo que a eventual exposição ao radão não será apenas ocupacional podendo ser antes fortemente na habitação.

A estimativa de dose de inalação resultante da concentração de radão no ar interior da habitação obteve um valor de 29.17 mSv/ano, bastante superior ao limite de dose para o público (1 mSv/ano), como seria de esperar devido aos valores preocupantes da concentração de radão no ar interior da habitação.

### 5.11.2 Concentração de radão na água

As colheitas de água no ET11 foram efetuadas no furo, ORL e piscina termal (Tabela 5.75).

Tabela 5.75 - Concentração de radão na água do ET11

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Furo</b>	1	69
<b>ORL</b>	1	120
<b>Piscina termal</b>	1	0.1

Pela análise da tabela, verifica-se que apenas 1 dos 3 resultados da concentração de radão na água no ET11, é ligeiramente superior ao nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, **100 Bq/L**.

Observa-se ainda, que o valor da concentração de radão na água da piscina termal é insignificante, tal como esperado, uma vez que se trata de água tratada e que não é substituída diariamente.

### 5.11.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Na Tabela 5.76, encontram-se representados os valores obtidos para a radiação gama total em vários locais do ET11.

Tabela 5.76 - Radiação gama total (ET11)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Casa das máquinas	165
	Corredor acesso piscina termal	165
	Piscina termal	200
1º Piso	ORL	165
	Piscina lúdica	100

O valor mais elevado da radiação gama total foi registado na piscina termal, seguindo-se a casa das máquinas, corredor de acesso à piscina termal e ORL, apesar de em todos os locais os valores obtidos serem relativamente baixos.

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na piscina termal durante o outono e a primavera e na piscina lúdica, durante o período de outono, são apresentados na Tabela 5.77.

Tabela 5.77 - Taxa de dose de radiação gama (ET11)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
Piscina termal	Outono	599	0.295	0.011	0.293	0.266	0.327
	Primavera	983	0.323	0.009	0.322	0.292	0.352
Piscina lúdica	Outono	598	0.233	0.027	0.224	0.197	0.316

Em média, a taxa de dose de radiação gama na piscina termal no ET11 foi ligeiramente mais elevada na primavera ( $0.323 \mu\text{Sv/h}$ ) do que no outono ( $0.295 \mu\text{Sv/h}$ ). Contudo, a média da taxa de dose de radiação gama na piscina lúdica, apenas para o outono ( $0.233 \mu\text{Sv/h}$ ), é inferior à média da taxa da dose de radiação gama na piscina termal ( $0.295 \mu\text{Sv/h}$ ).

#### 5.11.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama na piscina termal durante o outono e a primavera, assim como os valores de taxa de dose de radiação gama na piscina lúdica durante o outono, seguem uma distribuição normal (Figura 5.41 a 5.43).

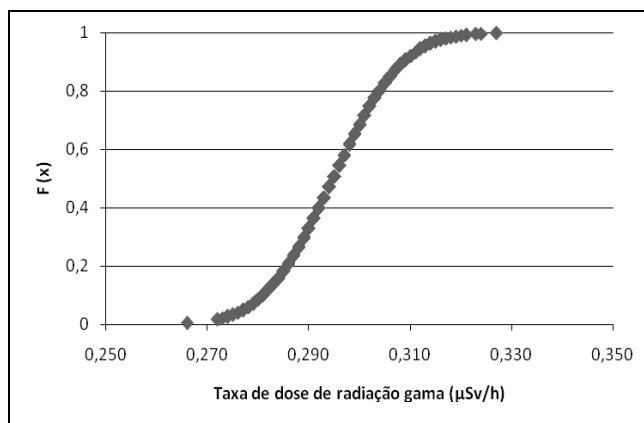


Figura 5.41 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – outono (ET11).

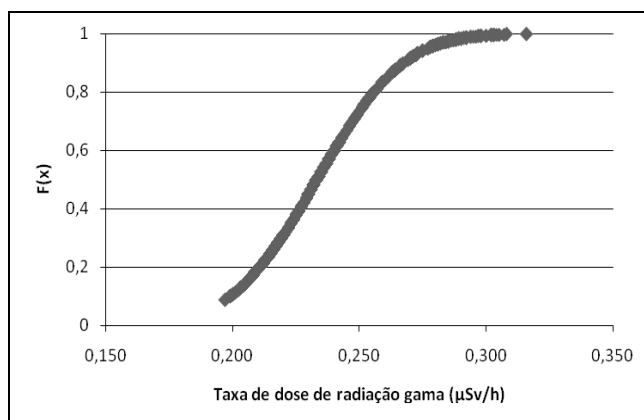


Figura 5.42 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – primavera (ET11).

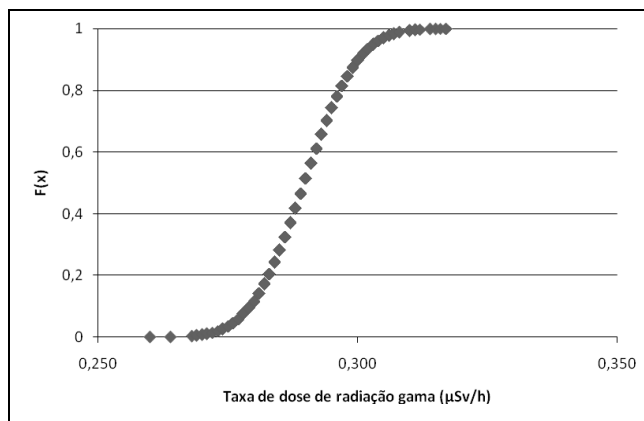


Figura 5.43 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, piscina lúdica – outono (ET11).

### 5.11.3.2 Autocorrelação

Foi calculada a função de autocorrelação para os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na piscina termal (outono e primavera) e piscina lúdica (outono). Os correlogramas encontram-se representados nas Figuras 5.44, 5.45 e 5.46.

Verifica-se que os dados da taxa de dose de radiação gama na piscina termal do ET11, durante o outono e primavera, não são correlacionados (Figura 5.44 e 5.45).

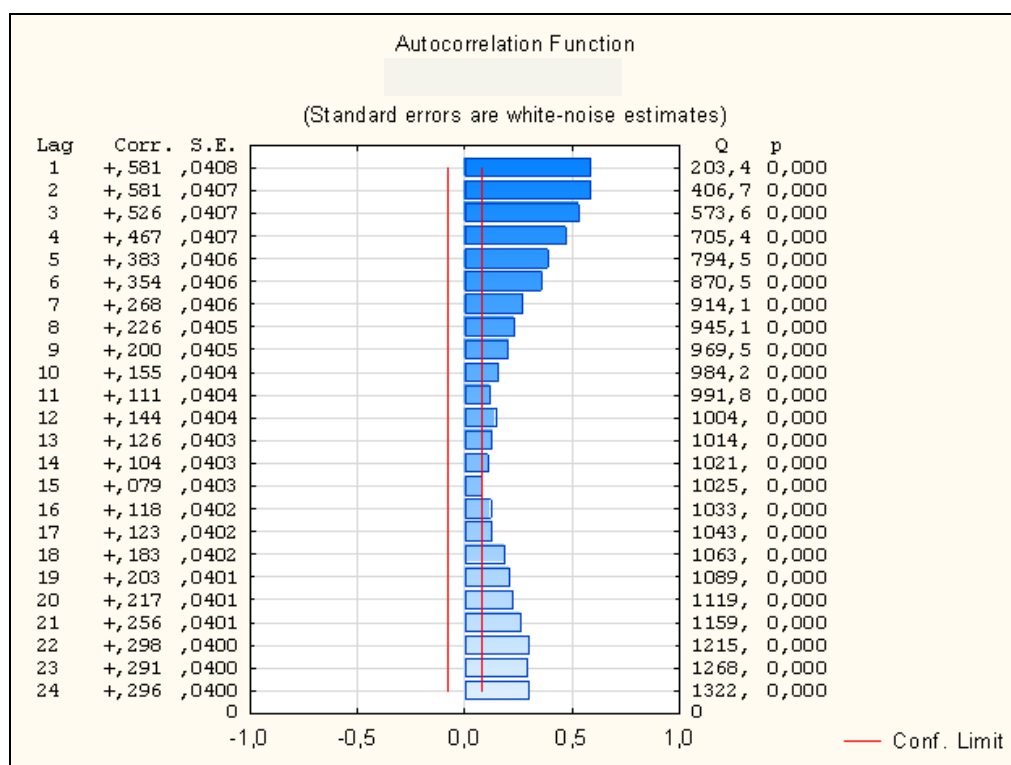


Figura 5.44 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – outono (ET11).

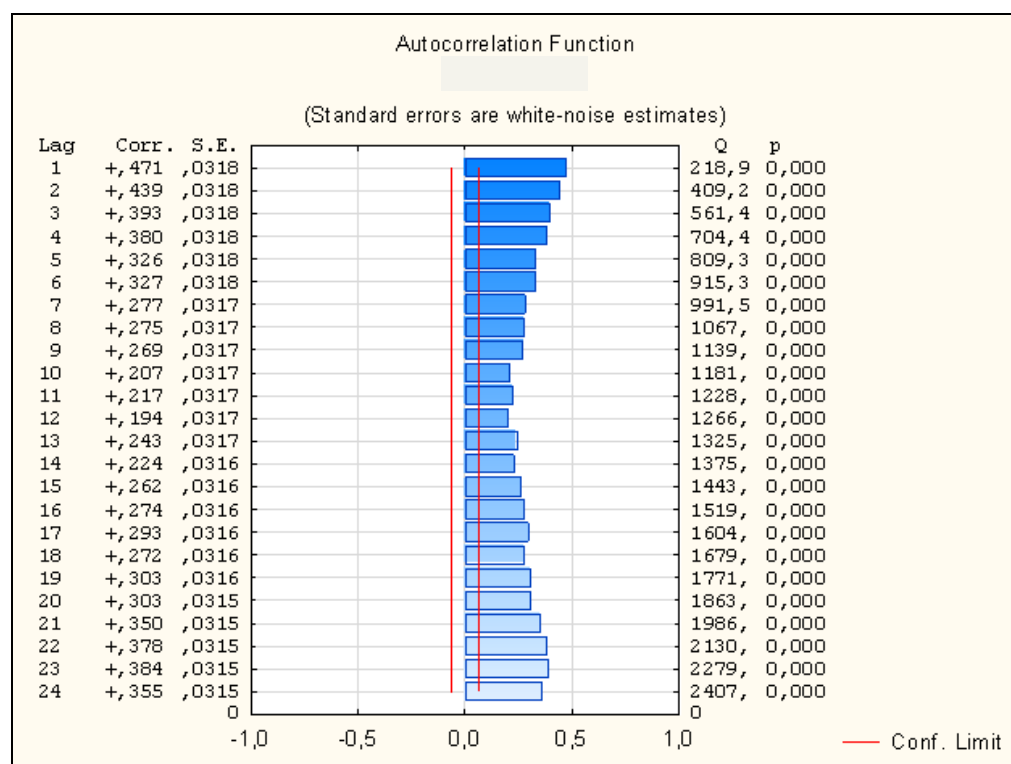


Figura 5.45- Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – primavera (ET11).

Apesar dos valores sucessivos não apresentarem correlação entre si, seria de esperar que todos os coeficientes autocorrelação fossem muito próximos de zero, o que não se verifica.

No entanto, o mesmo não acontece aos dados da taxa de dose de radiação gama na piscina lúdica (Figura 5.46). Durante o período do outono, os dados da taxa de dose de radiação gama são altamente correlacionados para os intervalos de tempo até 4 horas, tal como esperado.

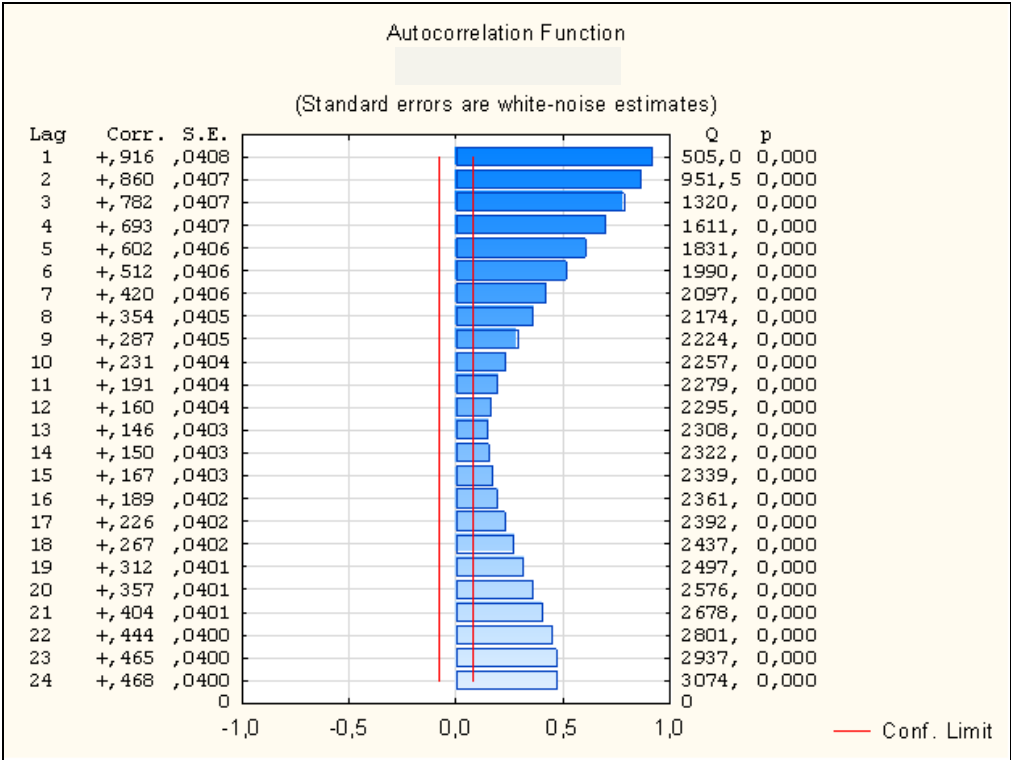


Figura 5.46 – Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina lúdica – outono (ET11).

Neste caso, foi possível ajustar um modelo teórico aos dados observados, descrito pela equação:

$$y = 0.4e^{(-ax)}\text{sen}(bx + c) + 0.5 \tag{Eq. 12}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.01127, 0.19096 e 1.91907, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.986 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

5.11.4 Estimativa da dose efetiva

Na tabela seguinte, encontram-se representadas as estimativas das doses de exposição e dose efectiva na piscina termal e lúdica (Tabela 5.78).

Tabela 5.78 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET11)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Piscina termal	Outono	4.45	0.590	5.04
	Primavera	1.84	0.646	2.49
	Anual	4.45	0.624	5.07
Piscina lúdica	Outono	7.77	0.466	8.24

Pela análise da tabela, verifica-se que a dose efetiva anual na piscina termal é inferior a 20 mSv/ano, sendo os trabalhadores classificados com a categoria A. Verifica-se ainda que a dose efetiva referente ao período de outono (5.04 mSv/ano) é superior à dose efetiva estimada com os dados recolhidos no período da primavera (2.49 mSv/ano) o que reflete a influência da concentração de radão no ar interior na estimativa da dose, muito superior no primeiro período.

Os trabalhadores afetos à piscina lúdica devem ser classificados como trabalhadores expostos, uma vez que estão suscetíveis de receber uma dose superior a 6 mSv/ano (8.24 mSv/ano), devendo assim cumprir os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica preconizado no Decreto-Lei n.º 222/2008, no local de trabalho ao nível da dose individual.

### 5.11.5 Resumo

Na Tabela 5.79 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.79 - Resumo dos resultados obtidos para o ET11

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>R/C</b>	<b>Furo</b>	--	69	165	--	--
		481	--	165	--	--
	<b>Casa das máquinas</b>	305	--	165	--	--
		641	--	165	--	--
	<b>Corredor acesso à piscina termal</b>	209	--	165	--	--
		618	0.1	200	0.295	--
<b>1º Piso</b>	<b>Piscina termal</b>	358	--	200	0.323	5.04
	<b>ORL</b>	255	120	165	--	2.49
		1079	--	100	--	--
	<b>Piscina lúdica</b>	377	--	100	0.233	8.24

Pela análise da tabela, verificamos que a dose efetiva anual na piscina lúdica é devida à concentração de radão no ar interior. O grande contributo para a concentração de radão no ar terá origem no edifício em si, ou seja, nos materiais de construção e/ou subsolo, e não na água. Apesar de não se ter analisado a concentração de radão na água da piscina termal, esta concentração será insignificante, uma vez que a água é tratada (com cloro) sendo ainda uma água “parada”, que não é substituída diariamente.

Por outro lado, sabe-se que durante os meses de novembro e dezembro de 2013 (fim da época termal) a afluência do público à piscina lúdica foi de zero, pelo que o funcionamento do sistema de ventilação mecânico poderá ter-se mantido desligado durante o período de medição permitindo a acumulação de radão neste local.

## 5.12 ET12

Apesar do ET12 estar aberto todo o ano, as medições da concentração de radão na água, concentração de radão no ar interior e taxa de dose de radiação gama realizaram-se durante uma

única campanha (1ª campanha de recolha de dados), uma vez que este estabelecimento termal mostrou-se indisponível para continuar no estudo.

Assim, a concentração de radão no ar interior foi medida na zona técnica, piscina de camas, piscina de crianças (o equipamento desapareceu) e piscina de reabilitação. A concentração de radão na água foi avaliada nos dois furos. A taxa de dose de radiação gama foi medida na zona técnica durante o inverno e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. A 1ª campanha de recolha de dados decorreu durante o inverno (21/01/2014 a 03/03/2014) por 42 dias (Tabela 5.80).

Tabela 5.80 - Recolha de dados (ET12)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	21/01/2014	21/01/2014	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	21/01/2014	03/03/2014	42
DRG (μSv/h)	21/04/2014	03/03/2014	42
RGT (c.p.s.)	21/01/2014	21/01/2014	1

Como as medições ocorreram numa única campanha não foi possível medir a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador.

### 5.12.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar do ET12 encontram-se descritos na Tabela 5.81.

Tabela 5.81 - Concentração de radão no ar interior (ET12)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )
			Inverno
Cave	Zona técnica	1	1692
R/C	Piscina de camas	1	862
	Piscina de crianças	1	--
	Piscina de reabilitação	1	813

Na piscina de crianças foi instalado o equipamento para medição da concentração de radão no ar interior (CR39), no entanto, o mesmo desapareceu no decurso das medições.

Pela análise da tabela verifica-se que todos os valores de concentração de radão no ar interior são superiores ao nível de referência previsto pela UE e limiar de proteção previsto na legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup> respetivamente.

No entanto, foi na zona técnica que o valor da concentração de radão no ar interior foi mais elevado, 1692 Bq/m<sup>3</sup>. A razão para este valor deve-se ao facto da zona técnica se situar na cave do estabelecimento termal, pelo que o radão tende a acumular-se nas zonas baixas (Ziane et al., 2014).

### 5.12.2 Concentração de radão na água

A concentração de radão na água do ET12 foi avaliada apenas no furo 1 e furo 2, conforme descrito na Tabela 5.82. No furo 1 foram realizadas duas colheitas de água no mesmo dia, uma vez que tínhamos excedente de material aquando da deslocação ao estabelecimento termal.

Tabela 5.82 - Concentração de radão na água (ET12)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
		Amostra 1	Amostra 2
<b>Furo 1</b>	2	199	207
<b>Furo 2</b>	1	452	--

Não foram realizadas colheitas de água no interior do estabelecimento termal, uma vez que o estabelecimento encontra-se em obras de remodelação.

Pela análise da Tabela 5.82 verifica-se que os três resultados da concentração de radão na água são superiores a 100 Bq/L, nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM.

### 5.12.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Foram efetuadas medições da radiação gama total (c.p.s.) e da taxa de dose de radiação gama ( $\mu\text{Sv/h}$ ) na parte do edifício do estabelecimento termal que se encontrava em funcionamento. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.83 e 5.84:

Tabela 5.83 - Radiação gama total (ET12)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>Cave</b>	<b>Zona técnica</b>	195
<b>R/C</b>	<b>Piscina de camas</b>	145
	<b>Piscina de reabilitação</b>	90

O valor mais elevado da radiação gama total foi registado na zona técnica, seguindo-se a piscina de camas e a piscina de reabilitação, apesar de todos os valores serem baixos.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na zona técnica, durante o período de inverno (Tabela 5.84).

Tabela 5.84 - Taxa de dose de radiação gama (ET12)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
<b>Zona técnica</b>	<b>Inverno</b>	985	0.406	0.053	0.392	0.330	0.630

A média dos valores da taxa de dose de radiação gama na zona técnica durante o inverno é de 0.406  $\mu\text{Sv/h}$ , sendo que os valores elevados de concentração de radão no ar interior e os valores da água (os furos localizam-se na cave) contribuem para este resultado.



### 5.12.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Verificou-se que os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na zona técnica durante o inverno seguem uma distribuição normal (Figura 5.47).

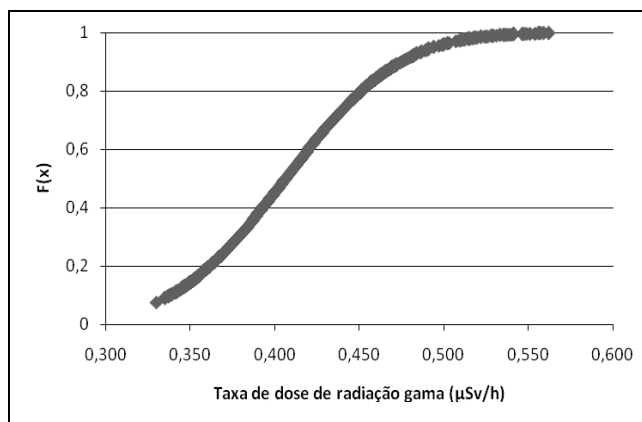


Figura 5.47 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, zona técnica - inverno (ET12).

Obteve-se um valor de 0.07 para o p-value com o teste K-S para os valores de taxa de dose de radiação gama na zona técnica durante o inverno.

### 5.12.3.2 Autocorrelação

Verifica-se que os dados da dose de radiação gama na zona técnica do ET12, durante o inverno, são altamente correlacionados para os intervalos de tempo de 27 horas (Figura 5.48).

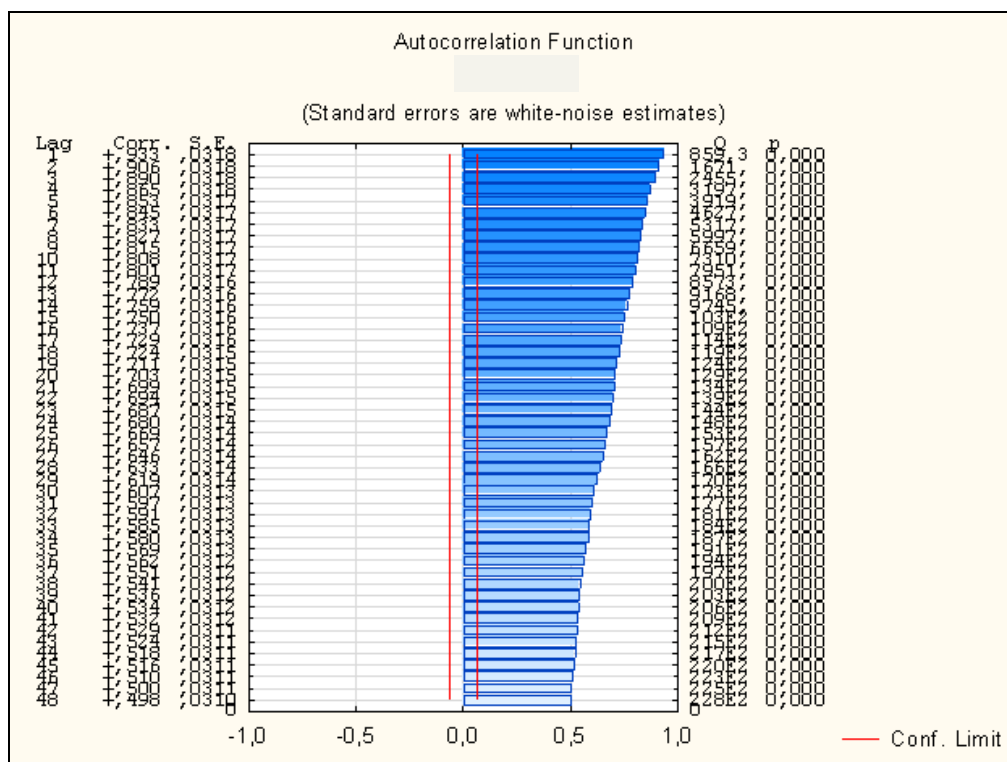


Figura 5.48 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, zona técnica – inverno (ET12).

Os valores do correlograma podem ser ajustados a um modelo teórico de equação:

$$y = a e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \quad \text{Eq. 13}$$

As constantes  $a$  e  $b$  foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.9223 e 74.4603, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.996 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

#### 5.12.4 Estimativa da dose efetiva

Os valores da estimativa da dose efetiva na zona técnica durante o período de inverno no ET12 encontram-se na Tabela 5.85:

Tabela 5.85 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET12)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Zona técnica	Inverno	12.18	0.812	12.99

No ET12 a dose efetiva anual é duas vezes superior ao limite de dose previsto na legislação nacional, 6 mSv/ano, para os trabalhadores da categoria A.

#### 5.12.5 Resumo

Os resultados obtidos para este estabelecimento termal encontram-se descritos na Tabela 5.86.

Tabela 5.86 - Resumo dos resultados obtidos para o ET12

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Cave	Zona técnica	1692	--	195	0.406	12.99
	Furo 1 Amostra 1	--	199	--	--	--
	Furo 1 Amostra 2	--	207	--	--	--
	Furo 2	--	452	--	--	--
R/C	Piscina de camas	862	--	145	--	--
	Piscina de crianças	--	--	135	--	--
	Piscina de reabilitação	813	--	90	--	--

A elevada dose efetiva anual na zona técnica é devida à concentração de radão no ar interior que terá origem maioritariamente no subsolo, com um contributo menos importante da concentração de radão na água, já que apenas aproximadamente 30 % do radão presente na água se liberta para o ar.

Por outro lado, os furos estão localizados na zona técnica, situada na cave do estabelecimento termal, pelo que a libertação do radão proveniente da água mineral natural, estará na origem da elevada concentração de radão no ar interior desta área.

### 5.13 ET13

No ET13 foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar interior foi medida na ORL, corredor termal, duche *vichy* e piscina termal. A concentração de radão na água foi avaliada no furo. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c da habitação.

Foram efetuadas duas campanhas de recolha de dados para todas as variáveis com exceção da radiação gama total, da concentração de radão água e concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador.

Estas duas campanhas foram identificadas como tendo sido realizadas na primavera decorrendo de 11/03/2014 a 24/04/2014 e no outono decorrendo de 13/10/2014 a 24/11/2014.

Na primeira campanha foram feitas colheitas de amostras de água para determinação da concentração de radão, foi feita a medição da radiação gama total e mediação da taxa de dose de radiação gama durante um período de 45 dias em simultâneo com a medição da concentração de radão no ar interior.

Na segunda campanha repetiram-se as medições da concentração de radão no ar interior. A medição da concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador decorreu em simultâneo com esta medição (Tabela 5.87). A medição da radiação gama total foi feita na 1ª deslocação à habitação do trabalhador para colocar o detetor passivo CR39 (medição de concentração de radão no ar pelo período de 43 dias). A medição da taxa de dose de radiação gama não foi feita em simultâneo com estas medições, uma vez que, nesta data, não existia equipamento disponível para medir a taxa de dose de radiação gama tendo esta medição decorrido posteriormente, no período de 25/05/2015 a 06/07/2015 (42 dias).

Tabela 5.87 - Recolha de dados (ET13)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	11/03/2014	11/03/2014	1	25/05/2015	25/05/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	11/03/2014	24/04/2014	45	13/10/2014	24/11/2014	43
DRG (μSv/h)	11/03/2014	24/04/2014	45	25/05/2015	06/07/2015	42
RGT (c.p.s.)	11/03/2014	11/03/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	13/10/2014	24/11/2014	43
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	13/10/2014	13/10/2014	1

Após a análise de alguns resultados da concentração de radão no ar interior deste estabelecimento foi decidido realizar uma colheita de água na ORL e na água da piscina termal a 25/05/2015, devido aos valores obtidos para a concentração de radão no ar interior nestes locais.

### 5.13.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET13 encontram-se apresentados na Tabela 5.88:

Tabela 5.88 - Concentração de radão no ar interior (ET13)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Outono
Piso -1	ORL	2	312	498
R/C	Corredor termal	2	116	132
	Duche <i>vichy</i>	2	112	155
	Piscina termal	2	73	101

Pela análise da tabela, verifica-se que 2 dos 8 resultados (ORL durante o período da primavera e outono) da concentração de radão no ar interior são superiores ao nível de referência previsto pela UE (300 Bq/m<sup>3</sup>).

No entanto, face ao limiar de proteção previsto na legislação nacional, 400 Bq/m<sup>3</sup>, apenas o valor da concentração de radão no ar interior da ORL durante o período de outono, ultrapassa este limite.

Por outro lado, todos os valores da concentração de radão no ar interior são superiores no outono, face aos valores da concentração de radão no ar interior registados na primavera, tal como o esperado.

A concentração de radão medida no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de 257 Bq/m<sup>3</sup>, inferior ao nível de referência previsto na UE, 300 Bq/m<sup>3</sup> e limiar de proteção previsto na legislação nacional, 400 Bq/m<sup>3</sup>. Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (257 Bq/m<sup>3</sup>) é inferior à concentração de radão no ar interior no posto de trabalho da ORL (312 e 498 Bq/m<sup>3</sup>), pelo que a potencial exposição ao radão será apenas ocupacional.

Para a estimativa de dose de exposição interna resultante da concentração de radão na habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 1.85 mSv/ano, superior ao limite de dose efetiva para o público (1 mSv/ano).

### 5.13.2 Concentração de radão na água

No ET13 foi feita a recolha de 3 amostras de água distribuídas pelo furo, ORL e piscina termal conforme descrito na Tabela 5.89.

Tabela 5.89 - Concentração de radão na água (ET13)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua
		(Bq/L)
Furo	1	189
ORL	1	127
Piscina termal	1	*

(\*) – Abaixo do limite de deteção (0.5 Bq/L)

No ET13, 2 de um total de 3 resultados das análises efetuadas para determinar a concentração de radão na água, excederam o nível de referência recomendado pela UE, 100 Bq/L. Na piscina termal não se obteve nenhum valor para a concentração de radão na água, pelo facto de ser uma água tratada com cloro e a água não ser substituída diariamente.

### 5.13.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os resultados das medições da radiação gama total realizados no ET13 encontram-se descritos na Tabela 5.90.

Tabela 5.90 - Radiação gama total (ET13)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>Piso -1</b>	<b>ORL</b>	100
<b>R/C</b>	<b>Corredor termal</b>	100
	<b>Duche <i>vichy</i></b>	100
	<b>Piscina termal</b>	115

O valor mais elevado para a radiação gama total foi registado na piscina termal, seguindo-se a ORL, corredor termal e duche *vichy*.

A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL durante a primavera em 2 anos consecutivos, uma vez que a medição efetuada durante o período de outono teve que ser anulada por motivos de avaria do equipamento (GS3) (Tabela 5.91).

Tabela 5.91 - Taxa de dose de radiação gama (ET13)

TDRgama (μSv/h)		N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
ORL	Primavera	1050	0.297	0.008	0.297	0.242	0.327
	Primavera	1007	0.290	0.008	0.289	0.260	0.317

A média da taxa de dose de radiação gama na ORL durante o período da primavera é de 0.290  $\mu\text{Sv/ano}$ , praticamente idêntica nos diferentes anos. O contributo para estes resultados deve-se aos materiais de construção do estabelecimento termal.

#### 5.13.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Verificou-se que os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL do ET13 durante a primavera (medição na 1ª campanha), seguem uma distribuição log-normal (Figura 5.49). Os valores negativos registados no eixo dos xx (taxa de dose de radiação gama), resultam da transformação logarítmica dos valores medidos que neste caso, são todos inferiores a 1.

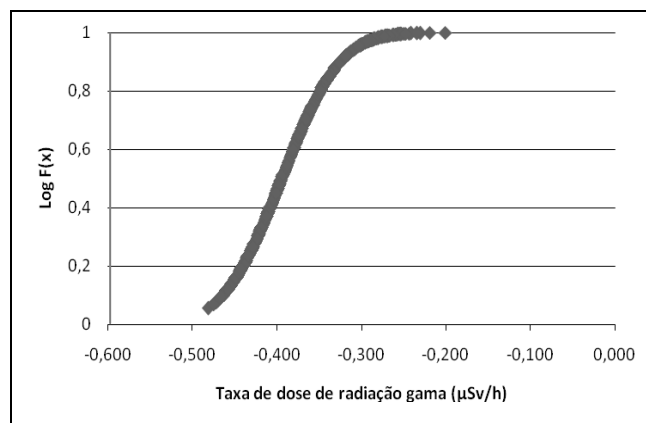


Figura 5.49 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORLMed1 – primavera (ET13).

No entanto, os valores de taxa de dose de radiação gama medidos na ORL na primavera durante a 2ª campanha, seguem uma distribuição normal, conforme Figura 5.50.

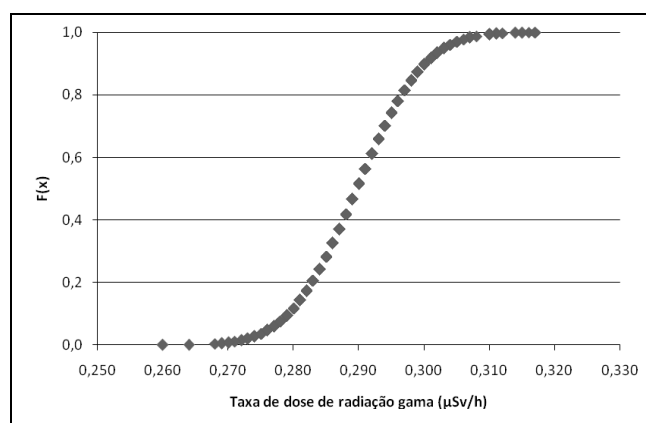


Figura 5.50 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORLMed2 – primavera (ET13).

O valor obtido através do teste de K-S é de 0.26.

### 5.13.3.2 Autocorrelação

Foi calculada a função de autocorrelação para os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL (primavera). Os correlogramas encontram-se representados nas Figuras 5.51 e 5.52.

Pela análise das Figuras 5.51 e 5.52, verifica-se que os dados da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL durante a primavera (medição 1 e medição 2) não são correlacionados, o que contraria o esperado, sugerindo estarmos em presença de séries temporais aleatórias, pois os coeficientes de autocorrelação são próximos de zero.

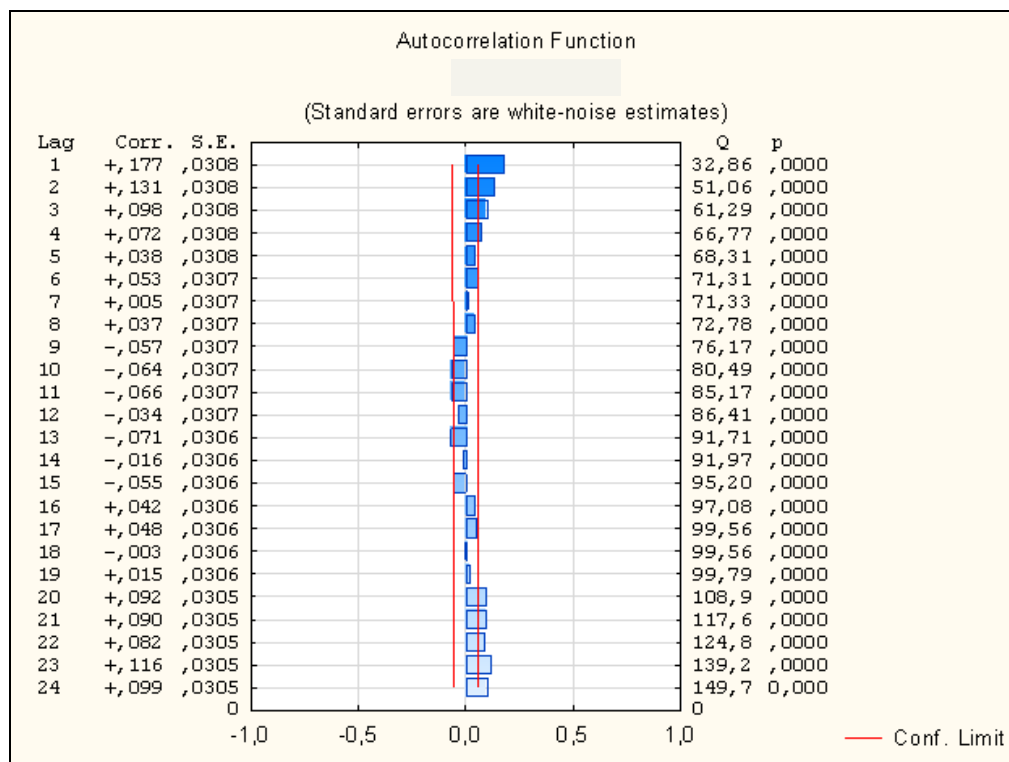


Figura 5.51 - Função cumulativa da autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORLMed1 – primavera (ET13).

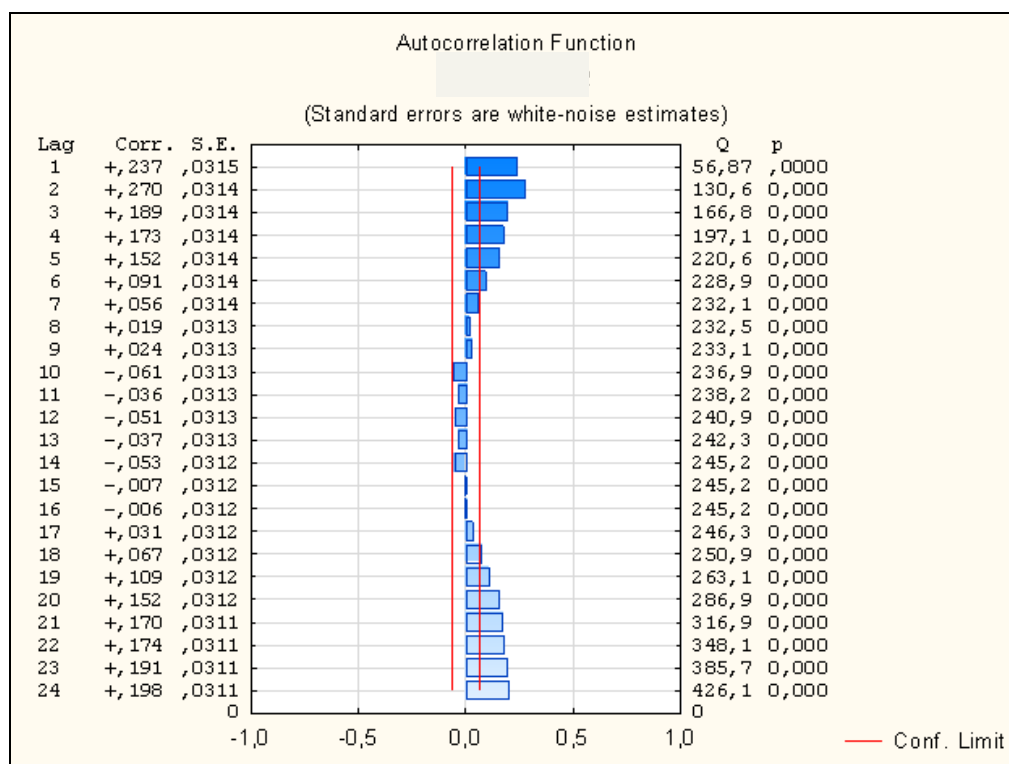


Figura 5.52 - Função cumulativa da autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORLMed2 – primavera (ET13).

### 5.13.4 Estimativa de dose efetiva

Os resultados da estimativa da dose efetiva para a ORL do ET13 encontram-se na Tabela 5.92.

Tabela 5.92 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET13)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>ORL</b>	<b>Primavera</b>	2.25	0.594	2.84
	<b>Primavera</b>	2.25	0.290	2.54
	<b>Anual</b>	2.25	0.293	2.54

Em todos os casos a dose efetiva anual é inferior ao limite de dose previsto no Decreto-Lei n.º 222/2008, 20 mSv/ano. Sendo assim, os trabalhadores da ORL, são classificados como trabalhadores da categoria B, uma vez que a dose efetiva neste local é inferior a 6 mSv/ano.

### 5.13.5 Resumo

Na Tabela 5.93, encontra-se um resumo com os resultados das medições efetuadas neste estabelecimento termal.

Tabela 5.93 Resumo dos resultados obtidos para o ET13

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>Piso -1</b>	<b>ORL</b>	312	127	100	0.297	2.84
		498	--	100	0.290	2.54
<b>R/C</b>	<b>Corredor termal</b>	116	--	100	--	--
		132	--	100	--	--
	<b>Duche vichy</b>	112	--	100	--	--
		155	--	100	--	--
	<b>Furo</b>	--	189	75	--	--
	<b>Piscina termal</b>	73	0	115	--	--
		101	--	115	--	--

A dose efetiva anual referente à ORL pode ser explicada pela elevada concentração de radão no ar interior. Mais uma vez, os níveis de radão terão origem nos materiais de construção e/ou subsolo deste estabelecimento termal. Mediante os valores da concentração de radão registados nos outros locais avaliados, prevê-se que as doses sejam menores.

### 5.14 ET14

Foram realizadas duas campanhas de recolha de dados, sendo que a primeira ocorreu durante o período da primavera (13/05/2014 a 23/06/2014), 42 dias, e a segunda campanha no período de outono (13/10/2014 a 24/11/2014), durante 43 dias (Tabela 5.94).

A concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy*, duche de jato, ORL, piscina termal e zona técnica. A concentração de radão na água foi medida nos furos 1 e 2, ORL e piscina termal. A radiação gama total foi medida em todo o estabelecimento termal. A taxa de dose de radiação gama foi medida na piscina termal, uma vez que existe a permanência de trabalhadores e pelo facto do valor da radiação gama total ser o valor mais elevado do estabelecimento termal. Na



habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c de uma moradia.

Tabela 5.94 - Recolha de dados (ET14)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	13/05/2014	13/05/2014	1	25/05/2015	25/05/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	13/05/2014	23/06/2014	42	13/10/2014	24/11/2014	43
DRG (µSv/h)	13/05/2014	23/06/2014	42	25/05/2015	06/07/2015	42
RGT (c.p.s.)	13/05/2014	13/05/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	13/10/2014	24/11/2014	43
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	13/10/2004	13/10/2014	1

Foi necessário repetir a medição da taxa de dose de radiação gama na piscina termal durante o período de verão, que decorreu entre 03/07/2014 a 12/08/2014 (41 dias), uma vez que o medidor da taxa de dose de radiação gama (GS3) avariou durante a medição da 1ª campanha. Por outro lado, a medição da taxa de dose de radiação gama da 2ª campanha não se realizou em simultâneo com as restantes medições, uma vez que não existia medidor de taxa de dose de radiação gama disponível, pelo que esta medição ocorreu no período da primavera, entre 25/05/2015 a 06/07/2015, 42 dias.

Após a finalização das duas campanhas de recolha de dados e mediante os resultados obtidos para a concentração de radão no ar interior (elevados) do duche *vichy* e zona técnica, foi decidido efetuar uma colheita de água nestes locais (incluída na 2ª campanha da Tabela 5.94 mas realizada a 25/05/2015).

### 5.14.1 Concentração de radão no ar interior

Foram realizadas medições da concentração de radão no ar interior no duche de jato, duche *vichy* ORL, piscina termal e zona técnica. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.95:

Tabela 5.95 - Concentração de radão no ar interior (ET14)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Outono
R/C	Duche jato	1	1130	--
	Duche <i>vichy</i>	2	1971	2873
	ORL	2	2298	1643
	Piscina termal	2	1494	2808
	Zona técnica	1	1145	--

Todos os resultados da concentração de radão no ar interior são bastante superiores ao nível de referência recomendada pela UE e limiar de proteção da legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>.

O valor mais elevado da concentração de radão no ar interior foi obtido no duche *vichy*, seguido do valor da piscina termal, ambos durante o período de outono, tal como esperado.

No entanto, na ORL o valor da concentração de radão no ar interior foi superior durante o período da primavera, ao contrário do que era de esperar.

A concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador, cujo posto de trabalho é na área dos duches, foi de 605 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE e do limiar de proteção da legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Por outro lado, verifica-se que a concentração de radão na habitação (605 Bq/m<sup>3</sup>) é inferior à concentração de radão no ar interior de todo o estabelecimento termal, e em particular na área dos duches (1130 a 2873 Bq/m<sup>3</sup>). Assim sendo, uma eventual exposição ao radão será predominantemente ocupacional com algum contributo da exposição habitacional.

Para a estimativa da dose de exposição interna por inalação ao radão no ar interior da habitação do trabalhador, obteve-se o valor de 4.36 mSv/ano, quatro vezes superior ao limite de dose para o público (1 mSv/ano).

### 5.14.2 Concentração de radão na água

Os resultados das colheitas realizadas no duche *vichy*, furo 1, furo 2, ORL e piscina termal encontram-se na Tabela 5.96.

Tabela 5.96 - Concentração de radão na água (Bq/L) no ET14

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
		Amostra 1	Amostra 2
<b>Duche <i>vichy</i></b>	1	2549	--
<b>Furo 1</b>	1	3090	--
<b>Furo 2</b>	1	3601	--
<b>ORL</b>	2	2624	1461
<b>Piscina termal</b>	1	953	--

Todos os valores da concentração de radão na água no ET14 são muito superiores a **100 Bq/L**, nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, e superior ao nível de ação da UE, 1000 Bq/L, com exceção do valor da concentração de radão na água da piscina termal que não ultrapassa o nível de ação.

### 5.14.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Na Tabela 5.97 encontram-se representados os valores obtidos para a radiação gama total em vários locais do ET14.

Tabela 5.97 - Radiação gama total (ET14)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Duche jato	100
	Duche vichy	100
	ORL	105
	Piscina termal	225
	Zona técnica	175

O valor mais elevado da radiação gama total foi registado na piscina termal, seguindo-se a zona técnica, apesar de em todos os locais os valores obtidos serem relativamente baixos.

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na piscina termal durante o verão e a primavera são apresentados na Tabela 5.98.

Tabela 5.98 - Taxa de dose de radiação gama (ET14)

TDRgama (μSv/h)		N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
Piscina termal	Verão	969	0.332	0.016	0.330	0.145	0.399
	Primavera	458	0.352	0.029	0.352	0.018	0.419

A média da taxa de dose de radiação gama na piscina termal é ligeiramente mais elevada durante a primavera, 0.352 μSv/h, sendo que os valores elevados da concentração de radão no ar interior e os valores da concentração de radão na água contribuem para este resultado.

#### 5.14.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Verificou-se que os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na piscina termal durante a primavera (para ambos os anos) no ET14 não seguem nenhuma distribuição conhecida.

#### 5.14.3.2 Autocorrelação

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na piscina termal do ET14, durante a primavera, são apresentados nas Figuras 5.53 e 5.54.

Pela análise da Figura 5.53, observa-se que os resultados nas medições da taxa de dose de radiação gama na ORL, durante o verão encontram-se correlacionados para períodos de 1 hora.

A variação dos coeficientes de autocorrelação pode ser ajustada a um modelo teórico de equação:

$$y = 0.6e^{(-ax)}\sin(bx + c) \quad \text{Eq. 14}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.03364, 0.26293 e 1.59531, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.9697 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

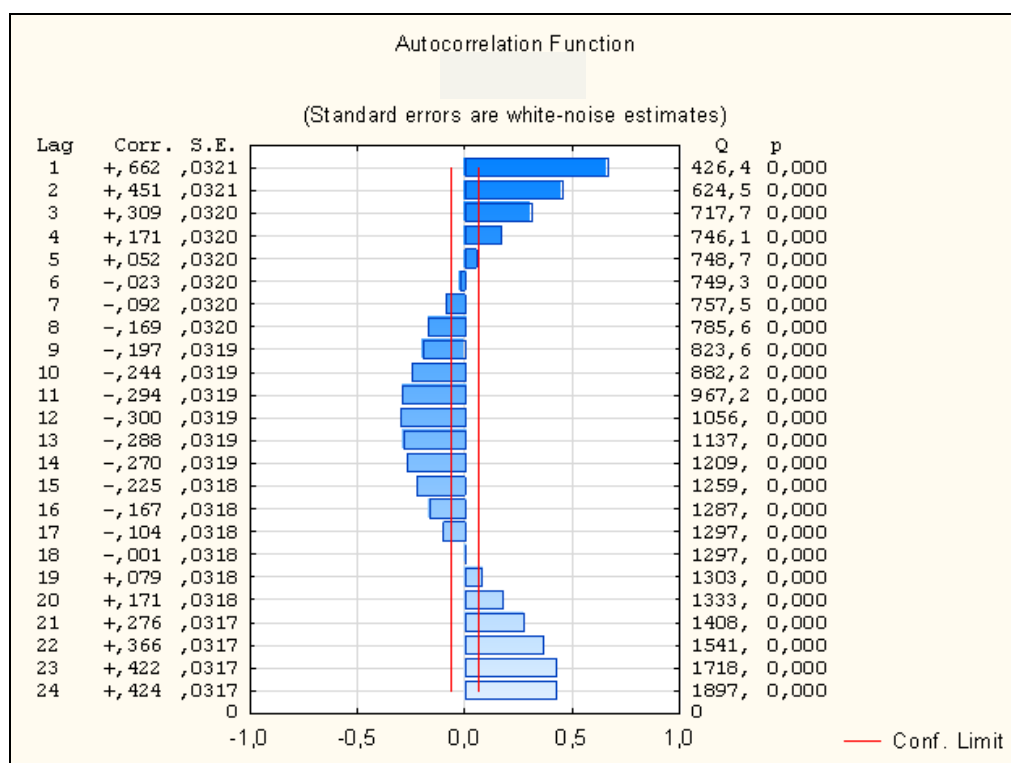


Figura 5.53 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, piscina termal – verão (ET14).

Contudo, os dados da dose de radiação gama na ORL durante a primavera não são correlacionados, o que contraria o esperado, e portanto os dados serão tendencialmente aleatórios.

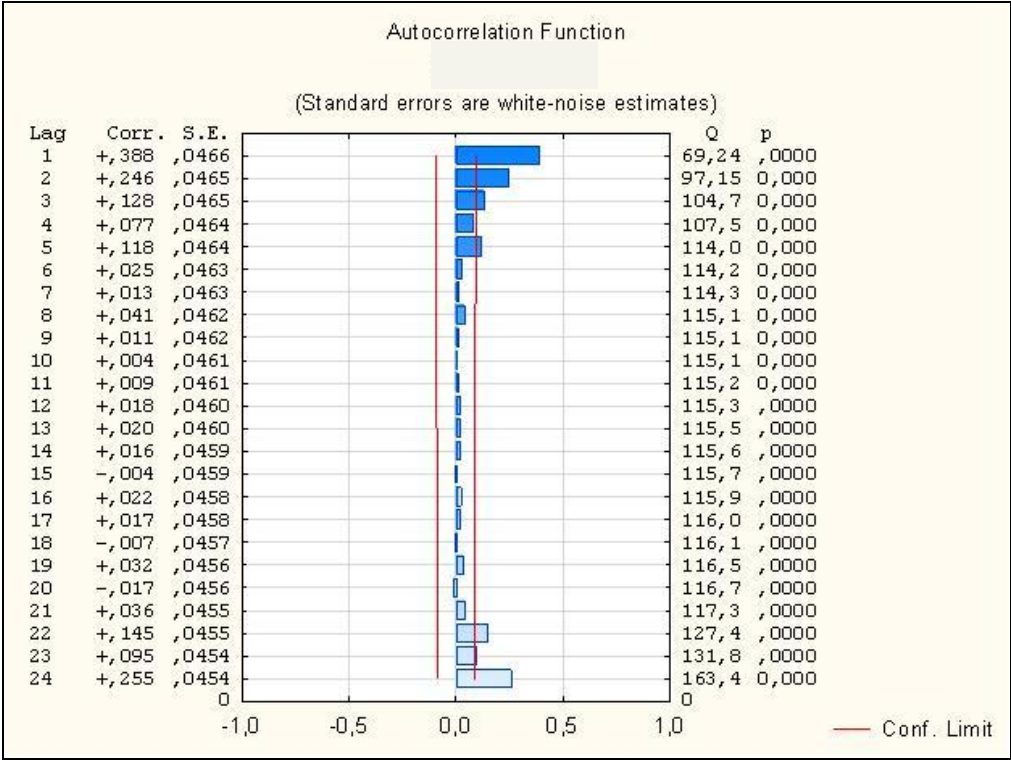


Figura 5.54 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – primavera (ET14).

### 5.14.4 Estimativa da dose efetiva

Na tabela seguinte, são apresentados os resultados da estimativa de dose interna, da dose externa e dose efetiva anual na piscina termal, durante o verão e a primavera, do ET14 (Tabela 5.99).

Para a estimativa da dose efetiva anual partiu-se do princípio que o valor da taxa de dose de radiação gama no verão não seria muito diferente do valor obtido na primavera e, portanto, adotou-se o mesmo valor.

Tabela 5.99 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET14)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Piscina termal	Primavera	10.76	0.704	11.46
	Outono	20.22	0.704	20.92
	Anual	20.22	0.678	20.90

Relativamente à exposição ocupacional dos trabalhadores neste estabelecimento termal, verifica-se que a dose efetiva anual no ET14 é de 20.90 mSv/ano, bastante superior à dose efetiva anual para trabalhadores classificados com a categoria A, 6 mSv/ano (Decreto-Lei n.º 222/2008).

### 5.14.5 Resumo

Na Tabela 5.100 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.100 - Resumo dos resultados obtidos para o ET14

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Duche jato	1130	--	100	--	--
	Duche <i>vichy</i>	1971	2549	100	--	--
		2873	--	100	--	--
	Furo 1	--	3090	100	--	--
	Furo 2	--	3601	100	--	--
	ORL	2298	2641	100	--	--
		1643	1461	105	--	--
	Piscina termal	1494	953	225	0.332	11.42
		2808	--	225	0.352	11.46
	Zona técnica	1145	2654	175	--	--

A elevada dose efetiva anual na piscina termal é devida à concentração de radão no ar interior que terá origem maioritariamente no subsolo, com um contributo importante da concentração de radão na água, dados os elevados valores da concentração de radão registados na água.

Apesar de não ter sido medida a taxa de dose de radiação gama no duche *vichy* e na ORL por falta de condições logísticas para instalação do equipamento (GS3), podemos referir com alguma segurança que a dose efetiva anual neste local também possa ser elevada, uma vez que a concentração de radão no ar interior destes locais também é bastante elevada.

## 5.15 ET15

Foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar interior foi medida no duche *vichy*, ORL e piscina termal. A concentração de radão na água foi medida no furo e na ORL. A taxa de dose de radiação gama foi medida na ORL e a radiação gama total em todo o estabelecimento termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no 2º andar de um prédio (Tabela 5.101).

Tabela 5.101 - Recolha de dados (ET15)

Parâmetro	1ª Campanha		Duração (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	13/05/2014	13/05/2014	1	07/04/2015	07/04/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	13/05/2014	23/06/2014	42	16/10/2014	26/11/2014	42
DRG (μSv/h)	13/05/2014	23/06/2014	42	16/10/2014	26/11/2014	42
RGT (c.p.s.)	13/05/2014	13/05/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	16/10/2014	26/11/2014	42
RGT HabTab (c.p.s.)	--	--	--	16/10/2014	16/10/2014	1

Foi necessário repetir a medição da taxa de dose de radiação gama durante o período de 07/04/2014 a 18/05/2015 (período de medição de 43 dias) uma vez que o equipamento (GS3) avariou durante a 1ª campanha de medições.

Após a análise de alguns resultados da concentração de radão no ar interior da piscina termal, foi decidido fazer uma colheita de água mineral natural na piscina termal, no dia de início da 2ª campanha, tendo em conta os resultados obtidos para a concentração de radão no ar interior.

### 5.15.1 Concentração de radão no ar interior

Os resultados da concentração de radão no ar interior do ET15 encontram-se descritos na Tabela 5.102:

Tabela 5.102 - Concentração de radão no ar interior (ET15)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Primavera	Outono
Piso -1	ORL	2	146	235
R/C	Duche <i>vichy</i>	2	93	141
	Piscina termal	2	203	176

Todos os valores da concentração de radão no ar interior obtidos durante o período de primavera e outono são inferiores ao nível de referência da UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Observa-se ainda, que a concentração de radão no ar interior é mais elevado durante o período de outono, tal como esperado, com exceção da piscina termal.

A concentração de radão medida no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de 111 Bq/m<sup>3</sup>, inferior ao nível de referência da UE e legislação nacional, 300 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup> respetivamente. Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (111 Bq/m<sup>3</sup>) se enquadra na gama de valores obtidos para o posto de trabalho de duche *vichy* (93 e 141 Bq/m<sup>3</sup>), pelo que a potencial exposição ao radão não será significativa em ambos os ambientes estudados.

Para a estimativa de dose de exposição interna por inalação, resultante da concentração de radão na habitação do trabalhador selecionado, obteve-se o valor de 0.799 mSv/ano, inferior ao limite de dose para o público (1 mSv/ano).

### 5.15.2 Concentração de radão na água

Neste estabelecimento termal foram feitas colheitas de amostras de água no furo, na ORL e na piscina termal, para determinar a concentração de radão, de acordo com a Tabela 5.103

Tabela 5.103 - Concentração de radão na água (ET15)

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)
<b>Furo</b>	1	57
<b>ORL</b>	1	28
<b>Piscina termal</b>	1	0.1

Verifica-se que nenhuma das três amostras de água analisadas excedeu o nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM de 100 Bq/L.

A concentração de radão na água na piscina termal (0.1 Bq/L) pode ser considerada aproximadamente zero, sendo uma água tratada com cloro e estagnada, pelo que não é substituída diariamente.

### 5.15.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os resultados obtidos neste estabelecimento termal para a radiação gama total e para a taxa de dose de radiação gama são apresentados nas Tabelas 5.104 e 5.105.

Tabela 5.104 - Radiação gama total (ET15)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
<b>Piso -1</b>	<b>ORL</b>	100
<b>R/C</b>	<b>Duche vichy</b>	100
	<b>Piscina termal</b>	100

Os valores da radiação gama total são iguais nos vários locais do estabelecimento termal, independentemente da localização e relativamente baixos.

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na ORL durante a primavera são apresentados na Tabela 5.105:

Tabela 5.105 - Taxa de dose de radiação gama (ET15)

TDRgama (µSv/h)	N	Média	σ	Mediana	Min.	Max.
<b>ORL Primavera</b>	984	0.419	0.206	0.307	0.279	1.036

Em média, a taxa de dose de radiação gama na ORL, durante o período da primavera é de 0.419 µSv/h.

#### 5.15.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na ORL durante a primavera, seguem uma distribuição normal (Figura 5.55).



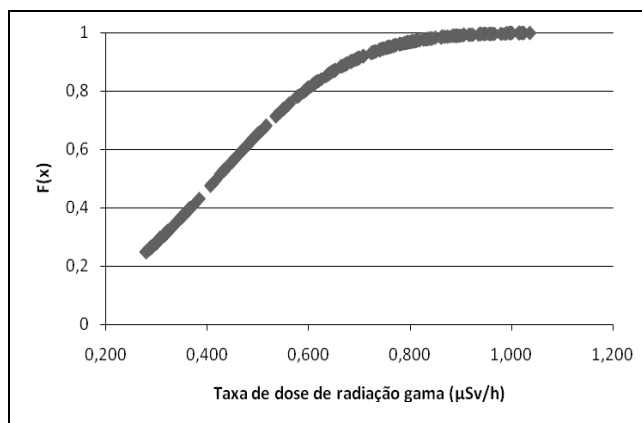


Figura 5.55 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL – primavera (ET15).

O valor de p-value obtido através do teste K-S foi de 0.46.

### 5.15.3.2 Autocorrelação

A função de autocorrelação foi calculada para a ORL, conforme representado na Figura 5.56.

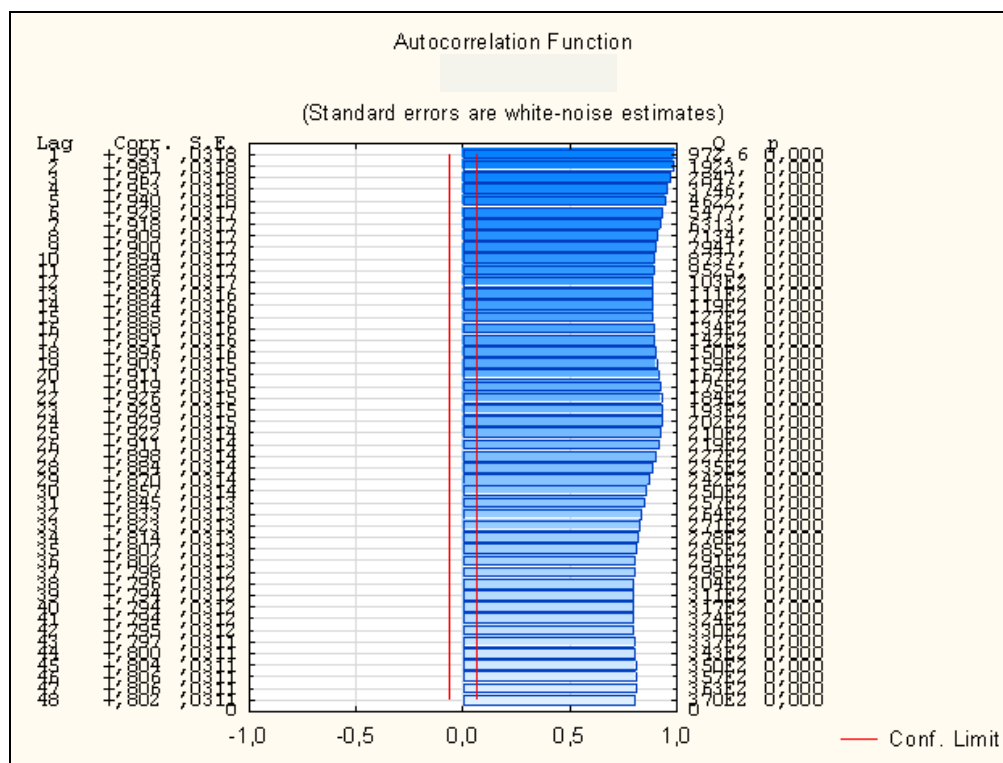


Figura 5.56 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – primavera (ET15).

Os resultados das medições da taxa de dose de radiação gama na ORL, durante a primavera, apresentam uma forte correlação positiva, em períodos de tempo de 48 horas.

Este comportamento pode ser ajustado a um modelo teórico de equação:

$$y = e^{ax} \sin(bx + c) \quad \text{Eq. 15}$$

As constantes a, b e c foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.005146, 0.007185 e 1.271669, respectivamente. Este ajuste permite um

coeficiente de correlação da ordem de 0.894 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

#### 5.15.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.106, estão apresentados os resultados da estimativa de dose de exposição interna por inalação ao radão, a dose externa por irradiação gama e a dose efetiva anual resultante destas duas componentes.

Tabela 5.106 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET15)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>ORL</b>	<b>Primavera</b>	1.69	0.838	2.53

Observa-se que a dose efetiva anual na ORL do ET15 é de 2.53 mSv/ano pelo que os trabalhadores desta área devem ser classificados como trabalhadores de categoria B, uma vez que a dose efetiva anual é inferior a 6 mSv/ano (Decreto-Lei n.º 222/2008).

#### 5.15.5 Resumo

Na Tabela 5.107 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.107 - Resumo dos resultados obtidos para o ET15

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (µSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
<b>Piso -1</b>	<b>ORL</b>	146	28	100	0.419	2.53
		235	--	100	--	--
<b>R/C</b>	<b>Duche <i>vichy</i></b>	93	--	100	--	--
		141	--	100	--	--
	<b>Furo</b>	--	57	100	--	--
	<b>Piscina termal</b>	203	0.1	100	--	--
		176	--	100	--	--

Como referido anteriormente, a dose efetiva anual obtida na ORL do ET15, durante o período da primavera, não ultrapassa o limite previsto no Decreto-Lei n.º 222/2008 pelo facto dos resultados da concentração de radão no ar interior não ultrapassarem o nível de referência previsto na UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>).

De uma forma geral, neste estabelecimento termal, todos os valores obtidos para as diferentes variáveis são relativamente baixos.

#### 5.16 ET16

Foram efetuadas várias medições em diferentes locais deste estabelecimento termal, sendo que a concentração de radão no ar interior foi medida na área das banheiras, área de vapores, área das

lamas, piscina termal e ORL. A concentração de radão na água foi medida no furo e na piscina termal. Na habitação do trabalhador foram feitas medições da concentração de radão no ar e da radiação gama total na sala, que se situa no r/c de um prédio (Tabela 5.108).

Inicialmente, a medição da taxa de dose de radiação gama foi efetuada na piscina termal durante o período de 21/01/2014 a 03/03/2014 (42 dias), 1ª campanha de recolha de dados. No entanto, o equipamento (GS3) avariou no decorrer desta medição pelo que se repetiu a medição durante o período de 13/11/2014 a 23/12/2014 (41 dias). Como o equipamento avariou novamente foi decidido alterar o local de medição para a área de vapores, pelo facto de nunca se ter obtido valores para o local previamente selecionado (piscina termal).

Assim, as medições da taxa de dose de radiação gama na área de vapores ocorreram entre os períodos de 12/01/2015 e 23/02/2015 (43 dias), identificadas como decorridas no inverno, e de 16/06/2015 e 28/07/2015 (43 dias), identificadas como decorridas no verão (2ª campanha de recolha de dados).

Tabela 5.108 - Recolha de dados (ET16)

Parâmetro	1ª Campanha		Duraçã o (dias)	2ª Campanha		Duração (dias)
	Início	Fim		Início	Fim	
CRnÁgua (Bq/L)	21/01/2014	21/01/2014	1	23/02/2015	23/02/2015	1
CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	21/01/2014	03/03/2014	42	31/07/2014	10/09/2014	42
DRG (μSv/h)	21/01/2014	03/03/2014	42	16/06/2015	29/07/2015	44
RGT (c.p.s.)	21/01/2014	21/01/2014	1	--	--	--
CRnAr HabTb (Bq/m <sup>3</sup> )	--	--	--	31/07/2014	19/09/2014	42
RGT HabTb (c.p.s.)	--	--	--	31/07/2014	31/07/2014	1

Após a análise de alguns resultados da concentração de radão no ar interior deste estabelecimento termal foi decidido analisar a concentração de radão na água na ORL a 23/02/2015 e registar a taxa de dose de radiação gama entre 02/09/2015 a 01/09/2015.

### 5.16.1 Concentração de radão no ar interior

Foram realizadas 10 medições da concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal, nomeadamente na área de banheiras, área de vapores, área das lamas, ORL e piscina termal (Tabela 5.109).

Tabela 5.109 - Concentração de radão no ar interior (ET16)

Localização	Identificação do local	N.º dosímetros	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	
			Inverno	Verão
R/C	Área de banheiras	2	172	266
	Área de vapores	2	398	199
	Área das lamas	2	467	214
	Piscina termal	2	370	240
2º Piso	ORL	2	375	175

No ET16 4 dos 10 resultados da concentração de radão no ar interior são superiores ao nível de referência previsto na Diretiva 2013/59/EURATOM (300 Bq/m<sup>3</sup>).

Contudo, apenas o valor da concentração de radão registado na área das lamas, durante o inverno, ultrapassou o limiar de proteção previsto na legislação nacional, 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Observa-se ainda, que os resultados da concentração de radão no ar durante o período de inverno são superiores aos resultados da concentração durante o período do verão, tal como esperado, com a exceção do valor da concentração de radão registado na área das banheiras.

A concentração de radão medida no ar interior da habitação do trabalhador selecionado deste estabelecimento termal foi de 508 Bq/m<sup>3</sup>, superior ao nível de referência da UE (300 Bq/m<sup>3</sup>) e ao valor limiar de proteção previsto na legislação nacional (400 Bq/m<sup>3</sup>). Verifica-se ainda que a concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador (508 Bq/m<sup>3</sup>) é superior à concentração de radão no ar interior deste estabelecimento termal, nomeadamente no posto de trabalho da área de vapores (199 e 398 Bq/m<sup>3</sup>), pelo que a potencial exposição ao radão não será apenas ocupacional.

Para a estimativa de dose de exposição interna por inalação, obteve-se o valor de 3.66 mSv/ano, o que é superior ao limite de dose efetiva anual para o público (1 mSv/ano).

### 5.16.2 Concentração de radão na água

No ET16 foi feita a recolha de 3 amostras de água distribuídas pelo furo, ORL e piscina termal, para determinar a concentração de radão na água, conforme descrito na Tabela 5.110.

Tabela 5.110 - Concentração de radão na água (Bq/L) no ET16

Identificação do local	N.º amostras	CRnÁgua (Bq/L)	
<b>Furo</b>	2	42	47
<b>ORL</b>	2	56	63
<b>Piscina termal</b>	1	10	--

Verifica-se que nenhuma das cinco amostras de água analisadas excedeu o nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM de 100 Bq/L.

### 5.16.3 Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama

Os resultados obtidos neste estabelecimento termal para a radiação gama total e taxa de dose de radiação gama são apresentados nas Tabelas 5.111 e 5.112.

Tabela 5.111 - Radiação gama total (ET16)

Localização	Identificação do local	(c.p.s.)
R/C	Área de banheiras	150
	Área de vapores	155
	Área das lamas	210
	Piscina termal	150
2º Piso	ORL	125

O valor mais elevado para a radiação gama total foi obtido na área das lamas, apesar de os valores obtidos serem relativamente baixos em todos os locais.

Os resultados da taxa de dose de radiação gama na área de vapores (inverno e verão) e na ORL (verão) são apresentados na Tabela 5.112.

Tabela 5.112 - Taxa de dose de radiação gama (ET16)

TDRgama ( $\mu\text{Sv/h}$ )		N	Média	$\sigma$	Mediana	Min.	Max.
Área de vapores	Inverno	1007	0.298	0.007	0.298	0.279	0.321
	Verão	695	0.573	0.409	0.303	0.279	1.483
ORL	Verão	695	0.285	0.007	0.285	0.265	0.306

Em média, a taxa de dose de radiação gama na área de vapores é maior durante o período de verão ( $0.573 \mu\text{Sv/h}$ ), comparativamente com o período de inverno. Por outro lado, a taxa de dose de radiação gama é menor na ORL do que na área de vapores, no mesmo período de medição.

### 5.16.3.1 Ajuste dos dados a uma distribuição estatística

Os valores da taxa de dose de radiação gama na área de vapores (AV) durante o período de inverno e de verão seguem uma distribuição normal, com um p-value de 0.08 e 0.10 respetivamente (Figura 5.57 e 5.58).

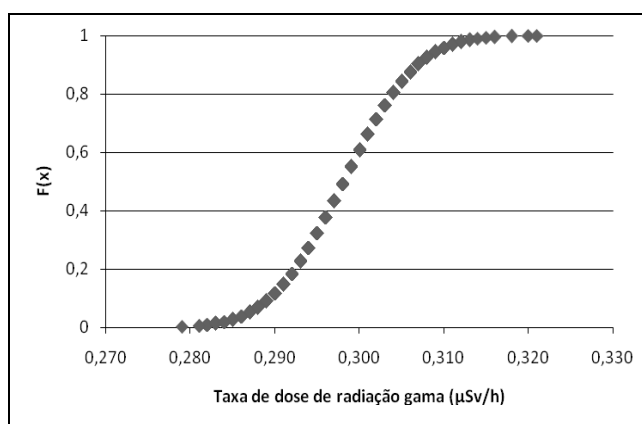


Figura 5.57 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, AV – inverno (ET16).

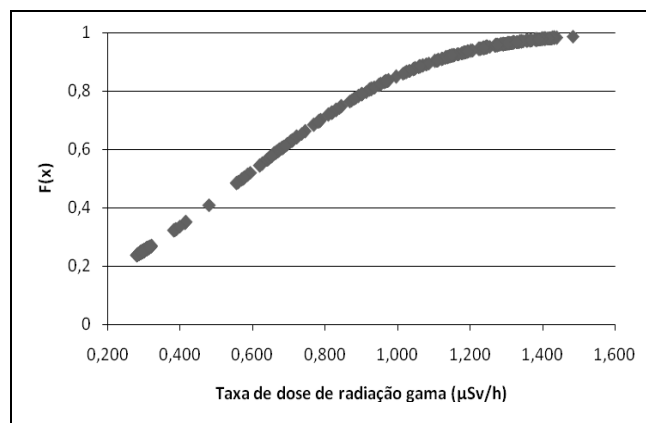


Figura 5.58 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, AV – verão (ET16).

No entanto, a taxa de dose de radiação gama na ORL durante o período de verão segue uma distribuição log-normal (Figura 5.59). Os valores negativos registados no eixo dos xx (taxa de dose de radiação gama), resultam da transformação logarítmica dos valores medidos que neste caso, são todos inferiores a 1.

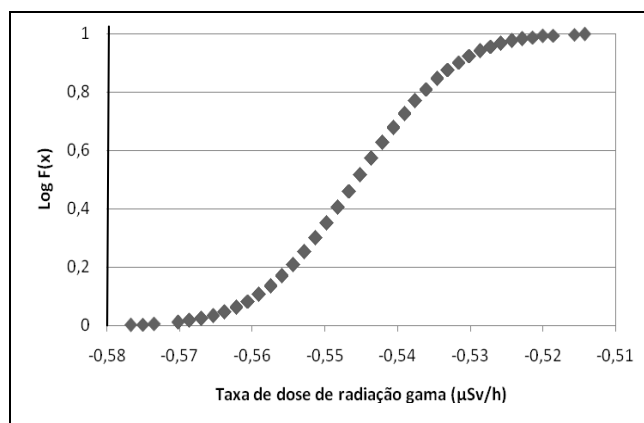


Figura 5.59 - Função cumulativa da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET16).

O valor de p-value obtido através do teste de K-S é de 0.34.

### 5.16.3.2 Autocorrelação

Foi calculada a função de autocorrelação para os valores da taxa de dose de radiação gama obtidos na área de vapores (inverno e verão) e na ORL (verão). Os correlogramas encontram-se representados nas Figuras 5.60 a 5.62.

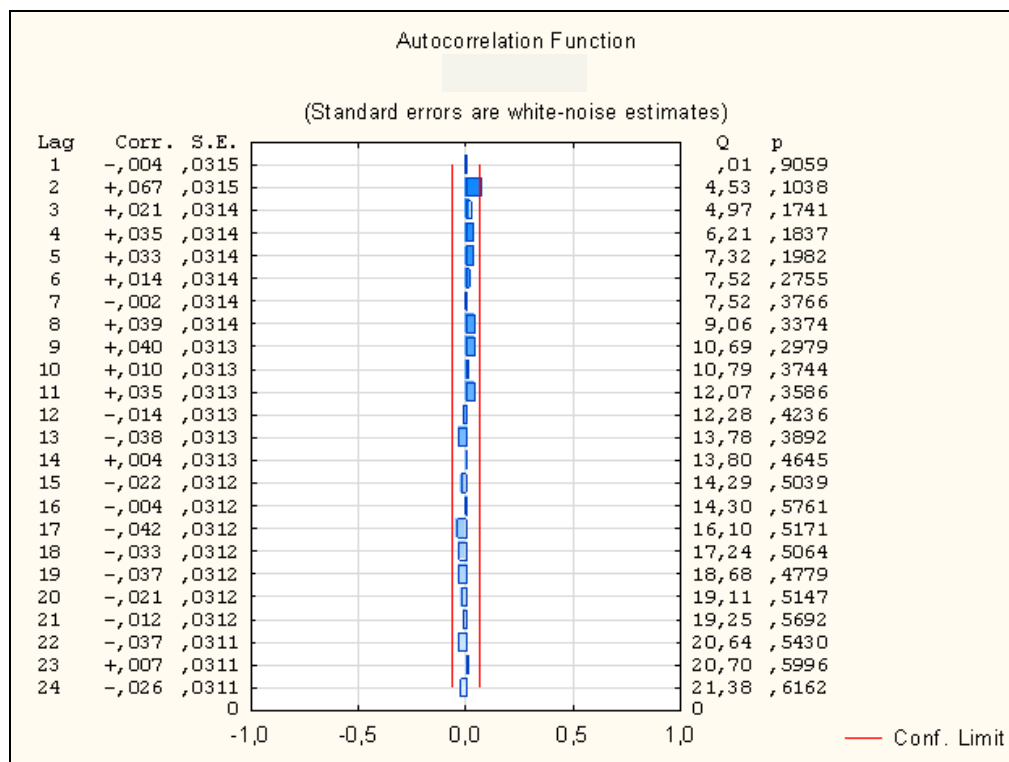


Figura 5.60 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, AV – inverno (ET16).

Os resultados dos coeficientes da função de autocorrelação na área de vapores, durante o inverno, não apresentam qualquer tipo de correlação para os diferentes intervalos de tempo considerados, sendo os coeficientes de autocorrelação muito próximos de zero, o que sugere que os dados são aleatórios.

No entanto, os dados da dose de radiação gama na área de vapores, durante o período de verão, são altamente correlacionados até intervalos de 48 horas (Figura 5.61), sendo possível ajustar a estes dados um modelo teórico não linear descrito pela equação:

$$y = a e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \quad \text{Eq. 16}$$

As constantes a e b foram otimizadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo-se obtido os seguintes valores: 0.92589 e 180.5952, respetivamente. Este ajuste permite um coeficiente de correlação da ordem de 0.904 entre os valores observados e os valores do modelo teórico.

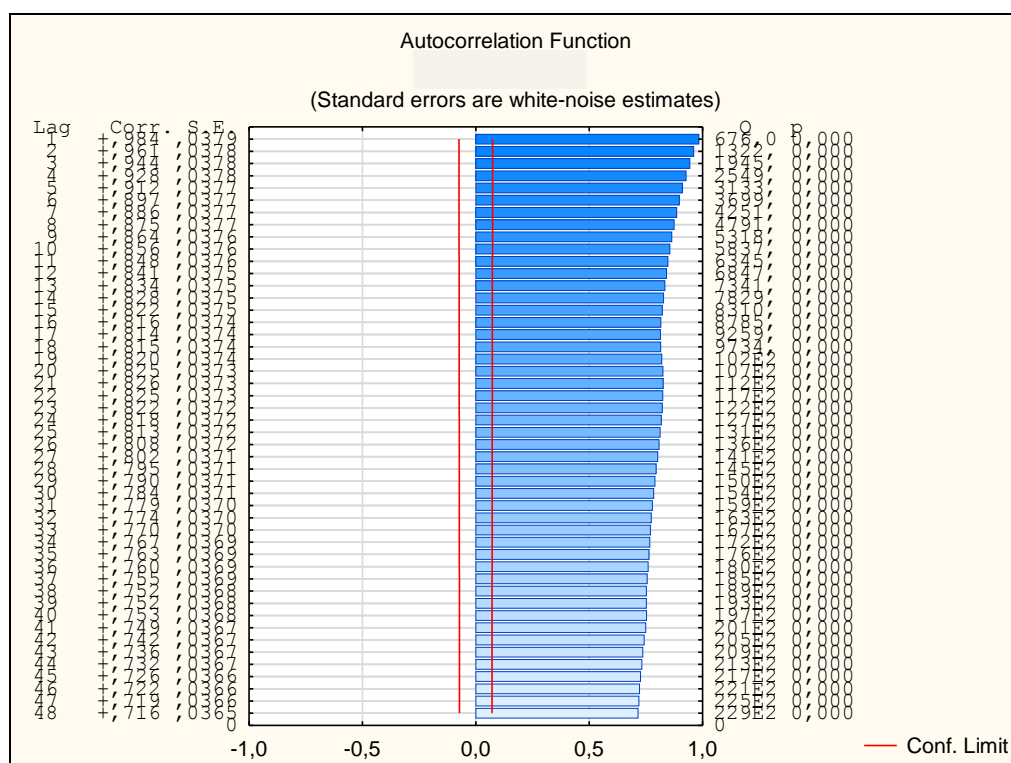


Figura 5.61 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, AV – verão (ET16).

Para os dados da taxa de dose de radiação gama na ORL durante o verão (medição 2) verifica-se que estes não são correlacionados, o que contraria o esperado (Figura 5.62) e sugerindo a aleatoriedade dos mesmos.



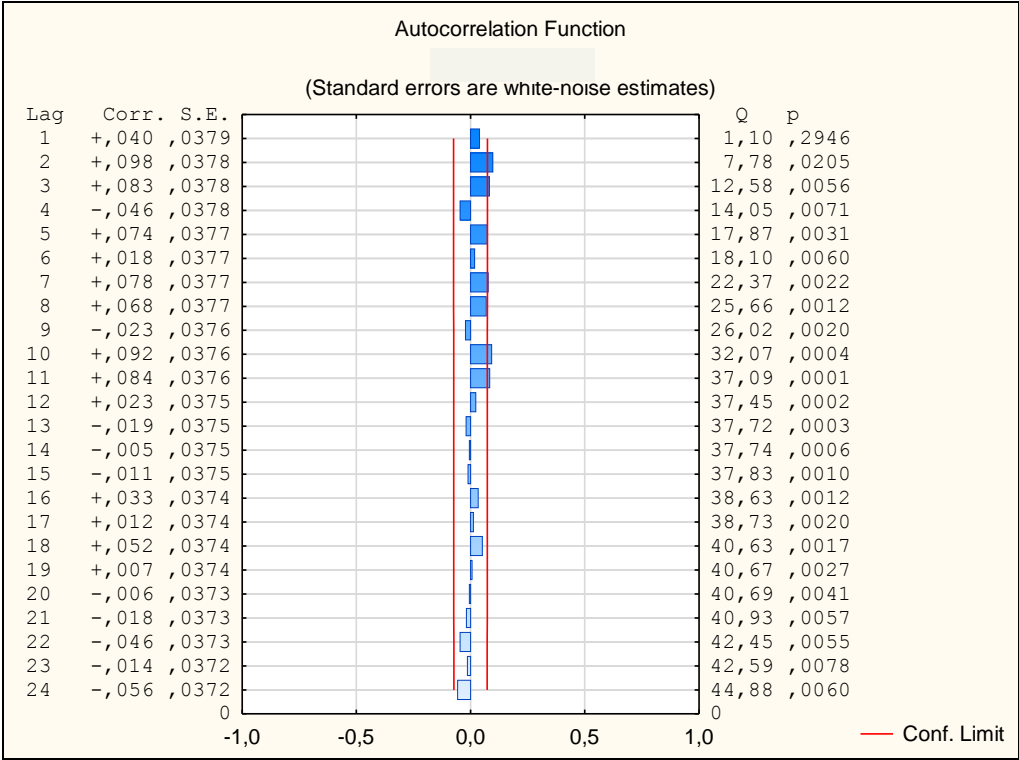


Figura 5.62 - Coeficientes da função de autocorrelação da taxa de dose de radiação gama, ORL – verão (ET16).

### 5.16.4 Estimativa da dose efetiva

Na Tabela 5.113, estão apresentados as estimativas das doses de exposição e dose efetiva na área de vapores (inverno e verão) e na ORL (verão).

Tabela 5.113 - Dose interna, dose externa e dose efetiva anual (ET16)

Identificação do local		Dose interna (mSv/ano)	Dose externa (mSv/ano)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
Área de vapores	Inverno	10.03	0.60	10.63
	Verão	5.02	1.47	6.49
	Anual	10.03	0.41	10.44
ORL	Verão	4.41	0.57	4.98

A dose efetiva anual na área de vapores é superior a 6 mSv/ano e inferior a 20 mSv/ano (Decreto-Lei n.º 222/2008), sendo os trabalhadores desta área classificados com a categoria A, apesar de a dose efetiva ser inferior durante o período de verão.

Contudo, a dose efetiva na ORL é inferior a 6 mSv/ano (Decreto-Lei n.º 222/2008), pelo que os trabalhadores desta área são classificados com a categoria B.

### 5.16.5 Resumo

Na Tabela 5.114 apresenta-se um resumo de todos os resultados obtidos para este estabelecimento termal.

Tabela 5.114 - Resumo dos resultados obtidos para o ET16

Localização		CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	RGT (c.p.s.)	DRG (μSv/h)	Dose efetiva anual (mSv/ano)
R/C	Área de banheiras	172	--	150	--	--
		266	--	150	--	--
	Área de vapores	398	--	155	0.298	10.63
		199	--	155	0.573	6.49
	Área das lamas	467	--	210	--	--
		214	--	210	--	--
	Furo	--	42	150	--	--
		--	47	150	--	--
	Piscina termal	370	10	150	--	--
		240	--	150	--	--
2º Piso	ORL	375	56	125	--	--
		175	63	125	0.285	4.98

Pela análise da tabela, verifica-se que a dose efetiva anual não ultrapassa o limite imposto pela legislação comunitária uma vez que o valor da concentração de radão no ar interior é próximo dos valores recomendados.

No entanto, observa-se que a dose efetiva anual na área de vapores é sensivelmente o dobro da dose efetiva anual na ORL, tal como esperado.

### 5.17 Questionário do estabelecimento termal

Os questionários foram preenchidos aquando a primeira visita aos estabelecimentos termais, na 1ª e 2ª campanha de medições. A identificação e a caracterização dos estabelecimentos termais encontram-se descritas na Tabela 5.115.

O questionário apresenta uma primeira secção que aborda questões ligadas à caracterização da época termal, horário de funcionamento, género, antiguidade no posto de trabalho, rotatividade e número de termalistas por ano. Estes critérios foram definidos no sentido de obter toda a informação relevante para o cálculo da dose efetiva anual associado a cada estabelecimento termal.

Tabela 5.115 - Caracterização dos estabelecimentos termais quanto ao funcionamento

ET	Época termal	Horário de Funcionamento			N.º trabalhadores			Antiguidade posto trabalho (anos)				Rotatividade	Termalistas /ano
		2ª a 6ª	S	D	Total	H	M	≤ 5	5-10	10-15	≥20		
ET1	SZ	X	X	X	11	3	8	3	--	--	8	Sim	3200
ET2	AN	X	X	--	16	SI	SI	--	1	--	15	Sim	500
ET3 – E1	SZ	X	X	--	60	10	50	--	60	--	--	Sim	15 000
ET3 – E2	AN	X	X	--	60	10	50	--	60	--	--	Sim	
ET4	SZ	X	M	M	11	SI	SI	11	--	--	--	Sim	3100
ET5	SZ	X	X	--	6	2	4	6	--	--	--	Sim	150
ET6	SZ	X	X	M	15	3	12	--	8	5	2	Sim	3500
ET7	AN	X	X	M	15	2	13	--	8	5	2	Sim	> 3500
ET8	SZ	X	X	--	3	1	2	3	--	--	--	Sim	130
ET9	SZ	X	X	M	7	2	5	--	--	--	7	Sim	502
ET10	SZ	X	X	X	4	2	2	--	--	--	4	Não	1229
ET11	SZ	X	X	X	23	6	17	23	--	--	--	Sim	1110
ET12	AN	X	X	X	7	2	5	4	3	--	--	Sim	366
ET13	SZ	X	X	X	22	SI	SI	22	--	--	--	Sim	660
ET14	SZ	X	X	M	16	2	14	--	--	16	--	Sim	650
ET15	SZ	X	X	X	15	1	14	15	--	--	--	Sim	2000
ET16	AN	X	X	--	18	3	15	--	8	5	5	Sim	968
ET17*	AN	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Total</b>	<b>--</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>309</b>	<b>49</b>	<b>211</b>	<b>87</b>	<b>148</b>	<b>31</b>	<b>43</b>	<b>--</b>	<b>18 065</b>

ET – Estabelecimento termal; AN – anual; SZ – sazonal; S - sábado; D – domingo; M – manhã; SI – Sem Informação.

(\*) – Estabelecimento suspenso.

Dos estabelecimentos termais que participaram no estudo, 67 % funcionam sazonalmente, aproximadamente entre os meses de abril a novembro, enquanto 33 % funcionam anualmente (Figura 5.63).

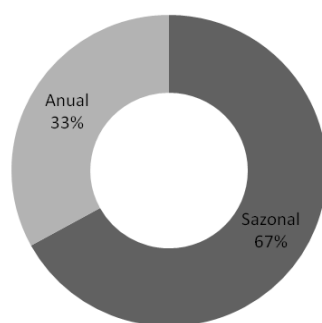


Figura 5.63 - Período de funcionamento dos estabelecimentos termais.

O número de trabalhadores afetos a todos os estabelecimentos termais estudados são 301, sendo maioritariamente mulheres (211) (Figura 5.64).

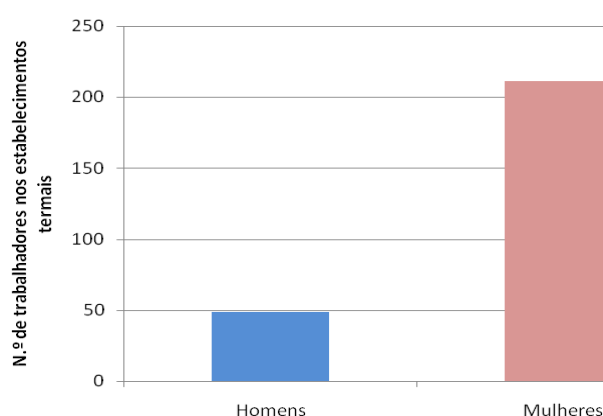


Figura 5.64 - N.º de trabalhadores nos estabelecimentos termais, por sexo.

Aproximadamente 50 % dos trabalhadores dos estabelecimentos termais possui uma antiguidade do posto de trabalho entre 5-10 anos (Figura 5.65).

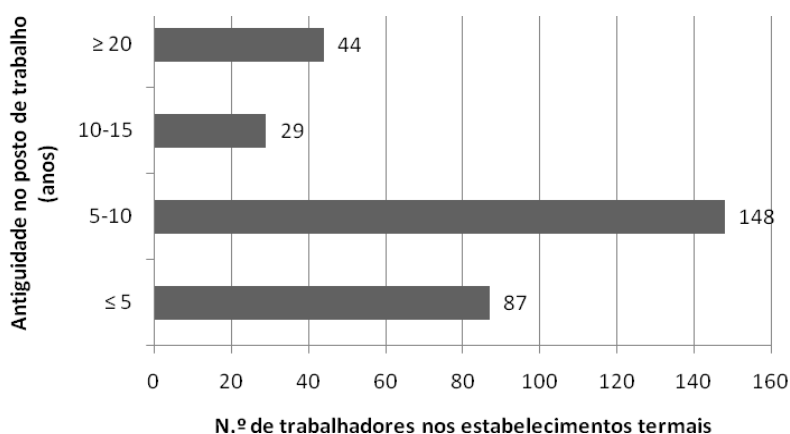


Figura 5.65 – N.º de trabalhadores por antiguidade no posto de trabalho (anos).

Quanto à rotatividade no posto de trabalho, apenas no ET10 não se verifica esta rotatividade apesar de ter 4 trabalhadores com mais de 20 anos de serviço. Neste estabelecimento termal apenas se obteve uma concentração de radão no ar interior do duche *vichy* superior ao nível de referência recomendado pela UE e legislação nacional ( $406 \text{ Bq/m}^3$ ). Apesar de não se ter medido a taxa de

dose de radiação gama é expectável que a dose efetiva no duche *vichy* seja superior aos restantes locais, pelo que uma rotatividade dos trabalhadores neste estabelecimento termal era importante, no sentido de diminuir a exposição ocupacional.

O estabelecimento termal com maior número de termalistas é o ET3 (inclui o E1 e o E2), visto ser um dos estabelecimentos mais antigos e com funcionamento anual, seguido do ET7 e ET6. O estabelecimento termal com menos termalistas é o ET8, devido à recente abertura (Figura 5.66).

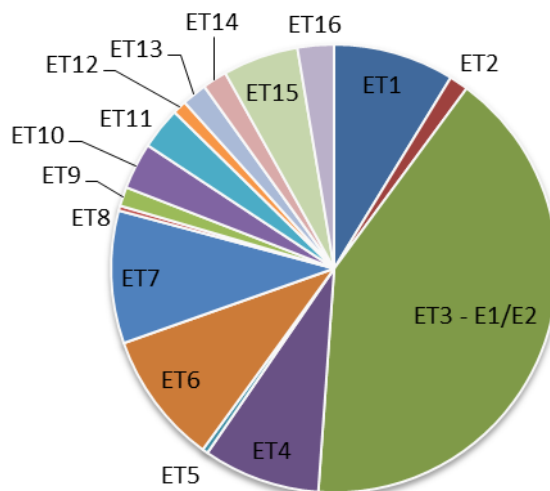


Figura 5.66 - Termalistas/ano nos estabelecimentos termais em estudo.

Na Tabela 5.116 encontram-se representados os critérios ligados à caracterização das instalações dos estabelecimentos termais, nomeadamente a existência de avaliação de riscos, estudo de medição de radão (EMR), plano de controlo radiológico (PCR), serviços de segurança e saúde no trabalho (SSST), tipo de ventilação, presença de climatização, existência de tratamento com lamas e piscina termal.

Tabela 5.116 - Caracterização das instalações

ET	Avaliação de riscos	EMR	PCR	SSST	Tipo de ventilação	Climatização	Lamas	Piscina termal
ET1	Sim	Sim	Não	Sim	VN/VM	Sim	Sim	Sim
ET2	Sim	Não	Não	Sim	VN	Não	Sim	Sim
ET3 – E1	Sim	Sim	Não	Sim	VN/VM	Sim	Não	Sim
ET3 – E2	Sim	Sim	Não	Sim	VN/VM	Sim	Não	Sim
ET4	Sim	Sim	Não	Sim	VN/VM	Sim	Não	Sim
ET5	Sim	Não	Não	Sim	VN	Não	Não	Não
ET6	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Sim	Sim
ET7	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Sim	Sim
ET8	Sim	Não	Não	Sim	VN	Não	Não	Não
ET9	Sim	Não	Não	Sim	VN	Não	Não	Não
ET10	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Não	Não	Sim
ET11	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Não	Sim
ET12	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Não	Sim
ET13	Sim	Não	Não	Sim	VN	Não	Não	Sim
ET14	Sim	Sim	Não	Sim	VN/VM	Não	Não	Sim
ET15	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Sim	Sim
ET16	Sim	Não	Não	Sim	VN/VM	Sim	Sim	Sim

ET – Estabelecimento termal; VN – Ventilação natural; VM – Ventilação mecânica.

Pela análise da Tabela 5.116, observa-se que nenhum estabelecimento termal possui um plano de controlo radiológico, pelo que desconhecem a exposição ocupacional ao radão a que os trabalhadores estão expostos.

No entanto, pela análise dos questionários verificou-se que 4 estabelecimentos termais: ET1, ET3, ET4 e ET14 referiram já terem efetuado um estudo sobre o radão nas instalações, não tendo sido adiantado por parte dos responsáveis, pormenores sobre o resultado do estudo.

Destes 4 estabelecimentos termais que referiram possuir um estudo sobre o radão nas instalações, apenas o estudo realizado no ET4 é público (Pereira et al., 2001).

Contudo, o presente estudo revelou que a dose efetiva anual ultrapassou o limite previsto na legislação na ORL do ET1, ORL ET5 e piscina termal do ET14, pelo que pelo menos nestes locais deviam ter sido implementadas algumas medidas de mitigação, no sentido de diminuir a exposição ocupacional ao radão dos trabalhadores.

Todos os estabelecimentos termais afirmaram ter serviços de segurança e saúde no trabalho.

Apenas 3 estabelecimentos termais não possuem piscina termal (18 %): ET5, ET8 e ET9.

Quanto ao tipo de ventilação existente nos estabelecimentos termais apenas existem 2 situações: i) existência de ventilação natural (VN); ii) existência de ventilação natural e ventilação mecânica (VN/VM) (Figura 5.67).

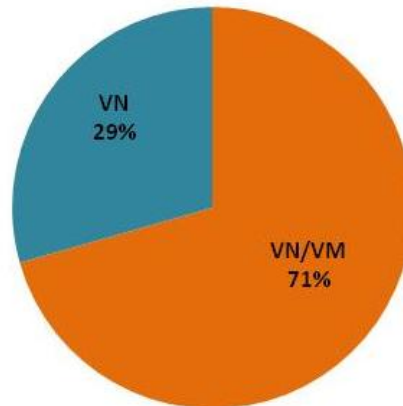


Figura 5.67 - Tipo de ventilação.

Na Tabela 5.117 é apresentado a relação entre os valores médios da concentração de radão no ar interior ( $\text{Bq/m}^3$ ) de diversos postos de trabalho dos estabelecimentos termais estudados e o tipo de ventilação (natural ou mecânica) para cada posto de trabalho.

Tabela 5.117 – Relação entre os valores da concentração de radão no ar interior e o tipo de ventilação

ET	Média dos valores da concentração de radão no ar interior (Bq/m <sup>3</sup> )													
	CS	PS	PT	ORL	CM	GM	HST	CPT		CT	DV/DJ	AV	VD	BV
	VN	VM	VM	VN	VN	VN	VN	VN	VM	VM	VM	VN	VN	VN
ET1	555	559	344	3299	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ET2	--	--	355	707	422	577	841	--	--	--	--	--	--	--
ET3	--	--	392	258	--	--	--	566	--	692	491	--	--	--
ET4	--	--	304	455	--	--	--	--	--	--	466	459	--	--
ET5	--	--	--	4335	--	--	--	--	--	--	1912	--	--	--
ET6	878	--	2181	1190	--	--	--	--	--	--	1163	1173	953	--
ET7	--	--	423	366	--	--	--	--	--	--	1415	--	1148	1615
ET8	--	--	--	347	--	--	--	--	--	--	361	--	--	--
ET9	--	--	--	156	--	--	--	--	--	--	368	--	--	--
ET10	--	--	163	219	--	--	--	--	--	--	318	--	--	--
ET11	--	728	488	255	393	--	--	--	425	--	--	--	--	--
ET12	--	--	862	--	1692	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ET13	--	--	87	405	--	--	--	--	124	--	134	--	--	--
ET14	--	--	2151	2586	1145	--	--	--	--	--	1991	--	--	--
ET15	--	--	189	191	--	--	--	--	--	--	117	--	--	--
ET16	--	--	305	275	--	--	--	--	--	--	299	--	--	--

ET – Estabelecimento termal; AV – área de vapores; BV – buvete; CM – casa das máquinas; CPT – corredor de acesso à piscina termal; CS – cabine spa termal; CT – corredor de tratamentos; DJ – duche de jato; DV – duche *vichy*; GM – gabinete médico; HST – hall spa termal; PS – piscina spa; PT – piscina termal; VD – varanda de descanso; VN – ventilação natural; VM - ventilação mecânica.



Pela análise da Tabela 5.117, verifica-se que em 16 % dos casos, a concentração de radão no ar interior é mais elevada quando o sistema de ventilação é natural do que nos casos em que o sistema de ventilação é mecânico.

No entanto, no posto de trabalho do duche *vichy* e/ou duche de jato, dotado de sistema de ventilação mecânico, os níveis de concentração de radão no ar interior por vezes são superiores aos dos restantes postos de trabalho dotados de ventilação natural. Portanto, significa que o sistema de ventilação mecânico na área dos duches não é eficaz para reduzir os níveis da concentração de radão no ar interior.

## **5.18 Questionário do trabalhador**

Os questionários aos trabalhadores (Anexo 2) foram entregues aos responsáveis dos estabelecimentos termais aquando a primeira visita, tendo sido distribuídos aos trabalhadores para preenchimento.

Após o preenchimento, foram enviados para a FEUP juntamente com os equipamentos de medição (CR39 e medidor de taxa de dose de radiação gama), para tratamento dos dados.

O questionário encontra-se dividido em quatro secções, a primeira secção diz respeito à identificação do trabalhador, a segunda secção refere-se ao posto de trabalho, a terceira é relativa aos hábitos de vida e por último, a quarta secção diz respeito ao historial clínico do trabalhador.

Foram distribuídos os questionários aos trabalhadores em 15 estabelecimentos termais, tendo sido excluído o estabelecimento termal do ET17, por se encontrar encerrado e o ET12, por não mostrarem disponibilidade em continuar no estudo na segunda campanha.

Responderam ao questionário 143 trabalhadores, aproximadamente 48 % dos trabalhadores dos estabelecimentos termais que participaram no estudo (Tabela 5.118).

Tabela 5.118 - Identificação dos trabalhadores por estabelecimento termal

ET	N	DPT (km)	Idade			Profissão																		
			Média	Máx.	Mín.	A	AD	AF	B	CO	E	EA	EC	EST	F	G	M	MOT	NR	PEF	R	TM	TMH	TT
ET1	10	6.91	48.1	57	31	--	--	--	--	--	--	--	1	--	3	--	4	--	--	--	1	1	--	--
ET2	6	2.19	32.5	22	49	--	--	--	3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	1
ET3	24	6.02	50.4	19	64	5	2	--	2	2	2	--	--	2	--	--	--	--	--	1	2	--	--	7
ET4	17	8.86	39.8	24	56	1	--	--	9	--	1	--	--	--	--	--	--	--	1	--	3	--	2	--
ET5	6	22.78	43.3	29	53	1	--	--	4	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ET7	12	15.42	34.1	28	47	--	--	5	4	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--	--	1	--	--	--
ET8	2	2	40	34	46	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--
ET9	7	17.70	47.4	41	60	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	4
ET10	6	3.77	43.8	28	56	1	--	2	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--	--	1	--	--	--
ET11	5	27.54	29	37	24	--	2	--	--	--	--	1	--	--	1	--	--	--	--	--	--	1	--	--
ET12	1	NR	31	31	31	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--
ET13	13	37.40	27.4	26	33	2	--	--	1	--	1	--	--	--	1	--	3	--	--	--	4	--	--	1
ET14	11	8.90	43.5	25	54	2	1	--	5	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	1	--	--
ET15	7	25.32	30	36	21	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1	1	3
ET16	16	21.03	38.3	32	44	3	--	--	2	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	2	1	--	7
Total	143	--	38.6	57	21	15	5	7	32	4	4	1	2	2	6	1	11	1	2	1	18	5	3	23

ET – Estabelecimento termal; DPT – distância entre a habitação do trabalhador e o posto de trabalho; A – auxiliar; AD – administrativo; AF – auxiliar fisioterapia; B – balneoterapeuta; CO – coordenador; E – esteticista; EA – engenheiro do ambiente; EC – economista; EST – estagiária; F – fisioterapeuta; G – gestor; M – massagista; MOT – motorista; PEF – Professor educação física; R – rececionista; TM – técnico de manutenção; TMH – técnico motricidade humana; TT – técnico termalismo; NR – não respondeu.

Os trabalhadores que mais responderam ao questionário (24) foram os trabalhadores do ET3. Contudo, no ET12 apenas 1 trabalhador respondeu ao questionário (Figura 5.68).

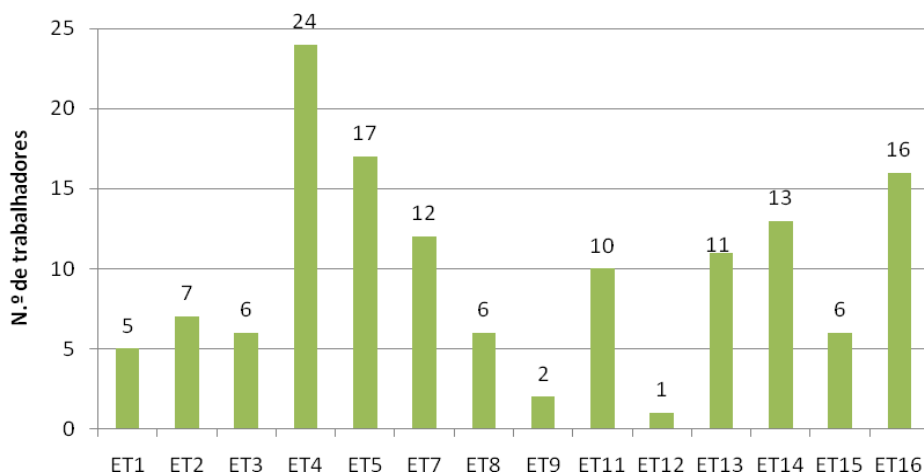


Figura 5.68 - N.º de trabalhadores que responderam ao questionário.

A distância média entre a habitação dos trabalhadores e o estabelecimento termal varia entre 2.0 e 37.4 km (Figura 5.69).

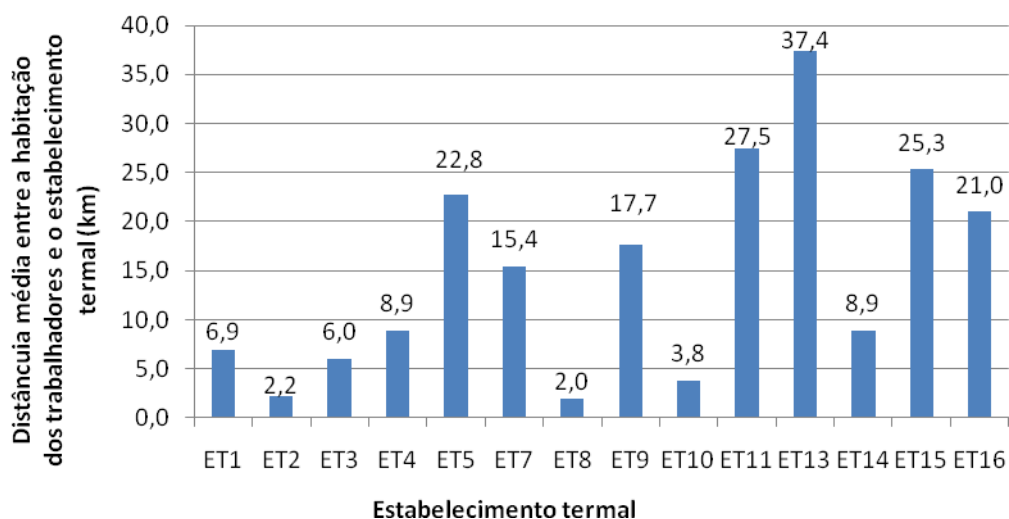


Figura 5.69 - Distância (km) média da habitação do trabalhador ao estabelecimento termal (posto de trabalho).

Na Tabela 5.119 é apresentada a relação entre a concentração de radão no ar interior do posto de trabalho do trabalhador selecionado, a concentração de radão no ar interior da habitação e a distância da habitação do trabalhador selecionado ao posto de trabalho.

Tabela 5.119 - Concentração de radão no posto de trabalho e na habitação do trabalhador e distância da habitação ao estabelecimento termal (posto de trabalho).

<b>ET</b>	<b>CRnAr (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CRnAr HabTb (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Distância entre a habitação do trabalhador selecionado e o estabelecimento termal (km)</b>
<b>ET1</b>	3119	68	1
<b>ET3</b>	187	254	2
<b>ET4</b>	465	1322	4
<b>ET5</b>	4335	312	11
<b>ET6</b>	1173	1877	2
<b>ET7</b>	1415	168	1
<b>ET8</b>	347	642	4
<b>ET9</b>	360	105	3
<b>ET10</b>	269	714	3
<b>ET11</b>	209	4051	11
<b>ET13</b>	498	257	3
<b>ET14</b>	2873	605	5
<b>ET15</b>	3199	68	1
<b>ET16</b>	398	508	9

Pela análise da Tabela 5.119, observa-se que, em alguns casos, os valores da concentração de radão no ar interior do estabelecimento são muito diferentes (ver por exemplo, o ET15) dos valores da concentração de radão na habitação do trabalhador, o que reflete a influência de vários fatores nos níveis de radão no ar interior.

A média de idades dos trabalhadores, em cada estabelecimento termal, apresenta um amplo intervalo, variando entre os 21 e os 57 anos. A média de idades mais elevada verifica-se no ET3, seguido do ET1 (Figura 5.70).

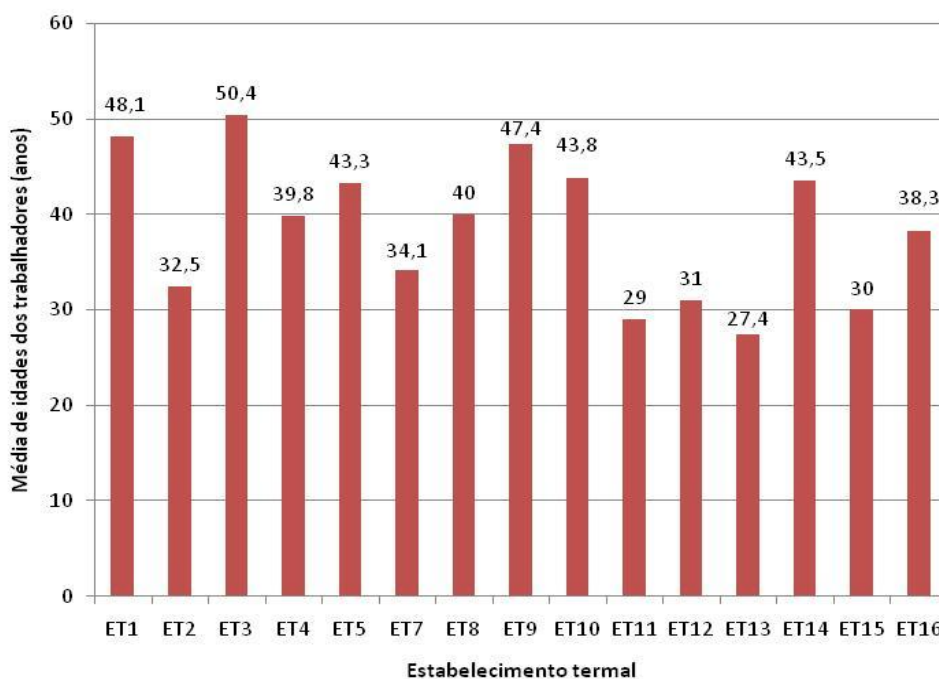
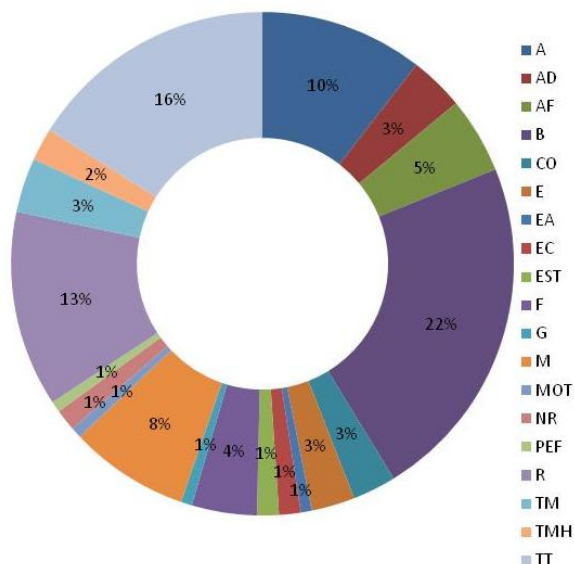


Figura 5.70 - Média de idades dos trabalhadores dos estabelecimentos termais.

Os estabelecimentos termais com a média de idades mais baixa são ET13, ET11, ET15 e ET8 (Figura 5.70).

Relativamente à identificação da profissão, os profissionais que mais responderam ao questionário foram os balneoterapeutas (22 %), seguido dos técnicos de termalismo (16 %) (Figura 5.71).



A – auxiliar; AD – administrativo; AF – auxiliar fisioterapia; B – balneoterapeuta; CO – coordenador; E – esteticista; EA – engenheiro do ambiente; EC – economista; EST – estagiária; F – fisioterapeuta; G – gestor; M – massagista; MOT – motorista; PEF – Professor educação física; R – rececionista; TM – técnico de manutenção; TMH – técnico motricidade humana; TT – técnico termalismo; NR – não respondeu.

Figura 5.71 - Número de trabalhadores que responderam ao questionário por profissão (%).

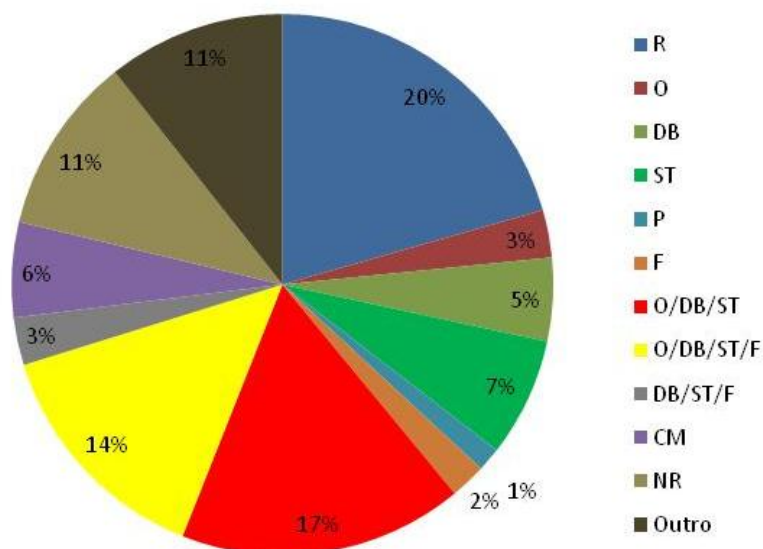
A segunda secção do questionário do trabalhador, relativo ao posto de trabalho, encontra-se descrita na Tabela 5.120:

Tabela 5.120 - Secção II do questionário – Posto de trabalho

ET	Posto trabalho												Anos no posto trabalho (anos)					Uso EPI			Existência de ventilação			Pausas no trabalho (10')		
	R	O	DB	ST	P	F	O/DB/SP	O/DB/ST/F	DB/ST/F	CM	NR	Outro	< 5	5-10	10-20	> 20	NR	S	N	NR	S	N	NR	S	N	NR
ET1	2	--	--	--	--	1	--	2	3	1	--	1	2	--	1	2	1	1	9	--	10	--	--	4	4	2
ET2	1	--	--	--	--	--	--	1	--	--	4	--	3	1	1	1	--	4	--	2	2	2	2	4	1	1
ET3	2	1	--	1	1	--	8	--	--	--	4	7	1	3	3	16	1	8	14	2	15	2	--	19	2	3
ET4	4	--	--	1	--	--	8	--	--	--	1	1	2	3	8	4	--	7	7	3	--	--	--	16	1	--
ET5	1	--	--	--	--	--	4	--	--	1	--	--	6	--	--	--	--	5	1	--	6	--	--	5	--	1
ET7	1	1	2	7	--	--	1	--	--	--	--	--	1	3	7	1	--	8	4	--	12	--	--	9	1	2
ET8	1	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	2	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	2	--	--
ET9	1	1	1	--	--	--	--	1	--	1	1	1	--	--	1	6	--	7	--	--	1	6	--	6	--	1
ET10	2	--	3	--	--	--	--	--	--	1	--	--	1	2	2	--	1	5	--	1	6	--	--	3	2	1
ET11	2	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1	1	4	--	--	--	1	1	4	--	5	--	--	4	--	1
ET12	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	1	--	--	1	--	--	1	--
ET13	5	--	--	1	--	1	--	6	--	--	--	--	9	3	--	--	1	8	4	1	12	--	1	12	--	1
ET14	--	1	--	--	--	1	--	3	1	1	3	1	1	2	6	2	--	4	7	--	10	1	--	8	1	2
ET15	1	--	1	--	1	--	2	--	--	1	--	1	7	--	--	--	--	6	--	1	6	1	--	7	--	--
ET16	5	--	--	--	--	--	--	7	--	1	1	2	1	--	13	2	--	7	8	1	11	4	1	11	5	--
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>41</b>	<b>17</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>72</b>	<b>60</b>	<b>11</b>	<b>96</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>110</b>	<b>18</b>	<b>15</b>

ET – estabelecimento termal; CM – casa das máquinas; DB – duche e banheira; F – fisioterapia; O – ORL; P – piscina termal; R – receção; ST – spa termal; NR – não respondeu; N – não; S – sim.

Pela análise da Tabela 5.120 e Figura 5.72, verifica-se que a maior parte dos trabalhadores (20 %) é da receção, 17 % trabalha na ORL, duche e banheira e spa termal, 14 % na ORL, duche e banheira, spa termal e fisioterapia, 11 % não responderam, sendo que os restantes trabalhadores trabalham em postos fixos, como por exemplo, 7 % no spa termal.



CM – casa das máquinas; DB – duche e banheira; F – fisioterapia; O – ORL; P – piscina termal; R – receção; ST – spa termal; NR – não respondeu.

Figura 5.72 – Trabalhadores por posto de trabalho (%).

No ET3, ET9 e ET14, verifica-se que os trabalhadores que responderam ao questionário pertencem a diversos postos de trabalho (Figura 5.73).

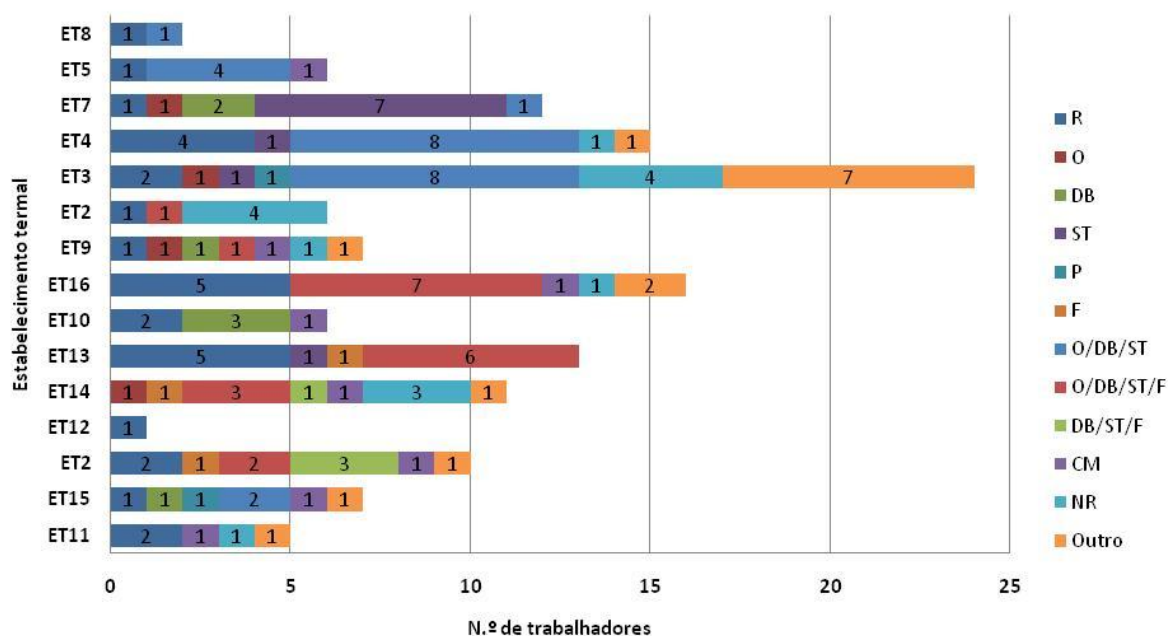


Figura 5.73 - Distribuição dos trabalhadores por posto de trabalho.



Verifica-se também que em 34 % dos estabelecimentos termais existe rotatividade do posto de trabalho, nomeadamente na ORL, no duche e banheira, spa termal e fisioterapia, destacando-se os estabelecimentos termais com funcionamento sazonal.

Relativamente à antiguidade no posto de trabalho, 30 % dos trabalhadores responderam que estão há menos de 5 anos no posto de trabalho atual, seguido de 30 % de trabalhadores que referiu que está no atual posto de trabalho entre 10 e 20 anos. Contudo, a antiguidade do posto de trabalho é superior a 20 anos para 24 % dos trabalhadores (Figura 5.74).

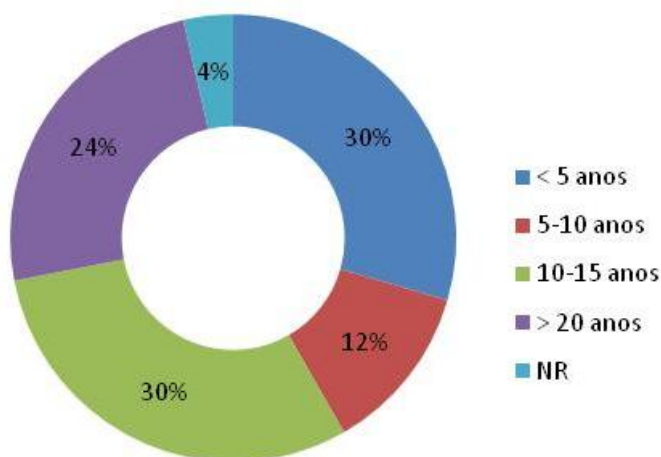


Figura 5.74 - Trabalhadores por antiguidade no respetivo posto de trabalho (%).

A importância da antiguidade do posto de trabalho e da rotatividade das tarefas prende-se com a duração e frequência da potencial exposição do trabalhador ao radão.

Assim, na Tabela 5.121 é apresentada a relação entre o valor médio da concentração de radão no ar interior por posto de trabalho e a média da concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal, rotatividade e antiguidade no posto de trabalho.

Tabela 5.121 – Concentração de radão no ar interior, rotatividade e anos de serviço no respetivo posto de trabalho

ET	Concentração de radão no ar interior (Bq/m <sup>3</sup> )														Rotatividade	Anos de serviço			
	CS	PS	PT	ORL	CM	GM	HST	CPT	CT	DV/DJ	AV	VD	BV	Média	S/N	< 5	05-10	10-20	> 20
ET1	555	559	344	3299	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1189	S	2	3	8	4
ET2	--	--	355	707	422	577	841	--	--	--	--	--	--	580	N	1	2	2	--
ET3	--	--	392	258	--	--	--	566	692	491	--	--	--	480	S	1	--	13	2
ET4	--	--	304	455	--	--	--	--	--	466	459	--	--	421	S	3	1	1	1
ET5	--	--	--	4335	--	--	--	--	--	1912	--	--	--	3124	S	6	--	--	--
ET7	--	--	423	366	--	--	--	--	--	1415	--	1148	1615	993	S	1	3	7	1
ET8	--	--	--	347	--	--	--	--	--	361	--	--	--	354	S	--	--	1	6
ET9	--	--	--	156	--	--	--	--	--	368	--	--	--	262	S	7	--	--	--
ET10	--	--	163	219	--	--	--	--	--	318	--	--	--	233	S	2	--	--	--
ET11	--	728	488	255	393	--	--	425	--	--	--	--	--	458	S	1	--	--	--
ET12	--	--	862	--	1692	--	--	--	--	--	--	--	--	1277	S	1	3	3	16
ET13	--	--	87	405	--	--	--	124	--	134	--	--	--	188	S	1	2	6	2
ET14	--	--	2151	2586	1145	--	--	--	--	1991	--	--	--	1968	S	9	3	--	--
ET15	--	--	189	191	--	--	--	--	--	117	--	--	--	166	S	4	--	--	--
ET16	--	--	--	275	--	--	--	--	--	299	--	--	--	287	S	2	--	1	2

ET – estabelecimento termal; AV – área de vapores; BV – buvette; CM – casa das máquinas; CPT – corredor de acesso à piscina termal; CS – cabine spa termal; CT – corredor de tratamentos; DJ – duche de jato; DV – duche *vichy*; GM – gabinete médico; HST – *hall* spa termal; PS – piscina spa; PT – piscina termal; VD – varanda de descanso; VN – ventilação natural; VM – ventilação mecânica.

Pela análise da Tabela 5.121, observa-se que no estabelecimento ET2, único não possui rotatividade no posto de trabalho, os trabalhadores da ORL poderá estar mais expostos ao radão que os restantes trabalhadores, dada a frequência e duração da exposição.

Deve realçar-se que, nos restantes estabelecimentos termais a rotatividade do posto de trabalho é relevante e essencial para diminuir a exposição, como acontece nos ET5, ET7, ET9, e que deverá continuar.

A maior parte dos trabalhadores usa equipamento de proteção individual (EPI), como luvas, avental e bata. No entanto, nenhum trabalhador referiu usar máscara durante a sua atividade, pelo que todo o radão presente no interior do estabelecimento termal é inalado pelo trabalhador enquanto estiver presente na sala de tratamento.

Cerca de 82 % dos trabalhadores referem que o seu posto de trabalho possui sistema de ventilação, principalmente ventilação natural. Este facto é importante porque um bom sistema de ventilação pode ser suficiente para reduzir eficientemente a concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal (Figura 5.75).

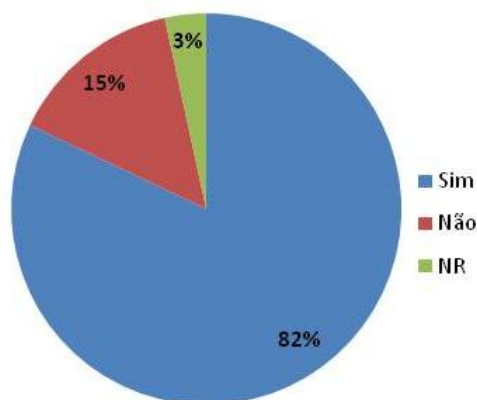


Figura 5.75 - Existência de sistema de ventilação.

Maioritariamente (77 %) refere ainda, que faz pausas de trabalho aproximadamente de 10 minutos. Estas pausas de trabalho, além de serem obrigatório em termos de código de trabalho, também são importantes para diminuir a dose efetiva anual de exposição ao radão.

A secção III do questionário, relativa aos hábitos de vida dos trabalhadores selecionados encontra-se descrita na Tabela 5.122.

Tabela 5.122 - Secção III - Hábitos de vida dos trabalhadores

ET	Consumo álcool			Consumo tabaco			Pratica exercício físico		
	S	N	NR	S	N	NR	S	N	NR
ET1	4	6	--	6	4	--	6	4	--
ET2	--	6	--	2	4	--	3	3	--
ET3	--	24	--	1	23	--	20	4	--
ET4	--	17	--	2	15	--	13	4	--
ET5	--	6	--	2	4	--	5	1	--
ET7	1	10	1	1	10	1	5	7	--
ET8	--	2	--	--	2	--	--	2	--
ET9	1	6	--	--	7	--	7	--	--
ET10	--	6	--	--	6	--	3	3	--
ET11	--	4	1	3	2	--	3	1	1
ET12	--	1	--	1	--	--	--	1	--
ET13	3	9	1	3	9	1	5	7	1
ET14	--	11	--	--	11	--	3	8	--
ET15	1	6	--	1	6	--	1	6	--
ET16	1	15	--	3	13	--	11	4	1
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>129</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>116</b>	<b>2</b>	<b>85</b>	<b>55</b>	<b>3</b>

ET – estabelecimento termal; S – sim; N – não; NR – não respondeu.

Verificamos que a maior parte dos trabalhadores não consome álcool, não fuma e pratica exercício físico (Figura 5.76). O facto de não fumarem é um dado importante para o risco (agravado) de efeitos na saúde devido à exposição combinada com o radão.

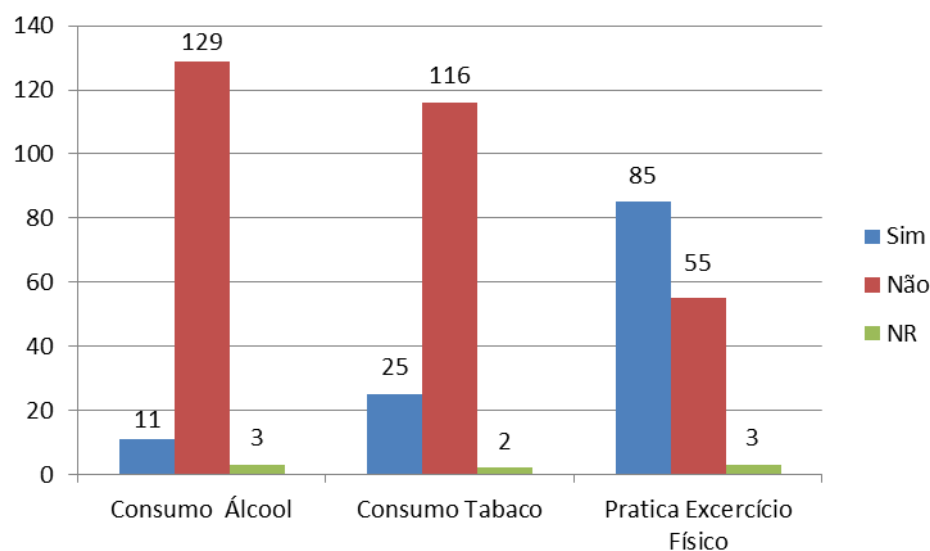


Figura 5.76 - Hábitos de vida dos trabalhadores.

Quanto ao historial clínico, a maior parte dos trabalhadores não possui problemas crónicos, não toma medicação e consideram-se saudáveis (Tabela 5.123).

Tabela 5.123 - Secção IV- Historial clínico

ET	Problemas crónicos			Medição atual			Antecedentes familiares relevantes			Considera-se saudável		
	S	N	NR	S	N	NR	S	N	NR	S	N	NR
ET1	--	10	--	2	8	--	5	4	1	10	--	--
ET2	1	5	--	2	4	--	2	3	1	6	--	--
ET3	9	13	2	15	8	1	6	16	2	18	3	3
ET4	7	10	--	8	9	--	13	4	--	16	--	1
ET5	--	6	--	--	6	--	1	5	--	6	--	--
ET7	--	11	1	--	11	1	3	8	1	11	--	1
ET8	--	2	--	--	2	--	--	2	--	2	--	--
ET9	1	6	--	1	6	--	--	7	--	7	--	--
ET10	1	5	--	1	5	--	2	4	--	6	--	--
ET11	--	3	2	1	--	4	--	2	3	5	--	--
ET12	--	1	--	--	1	--	--	1	--	1	--	--
ET13	1	11	1	--	12	1	1	11	1	9	3	1
ET14	--	11	--	5	6	--	--	10	1	11	--	--
ET15	--	7	--	2	5	--	--	7	--	7	--	--
ET16	4	12	--	3	13	1	5	11	--	16	--	--
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>113</b>	<b>6</b>	<b>40</b>	<b>96</b>	<b>8</b>	<b>38</b>	<b>95</b>	<b>10</b>	<b>131</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

Contudo, 27 % dos profissionais respondeu que têm antecedentes familiares relevantes, ou seja, familiares com problemas crónicos (Figura 5.77).

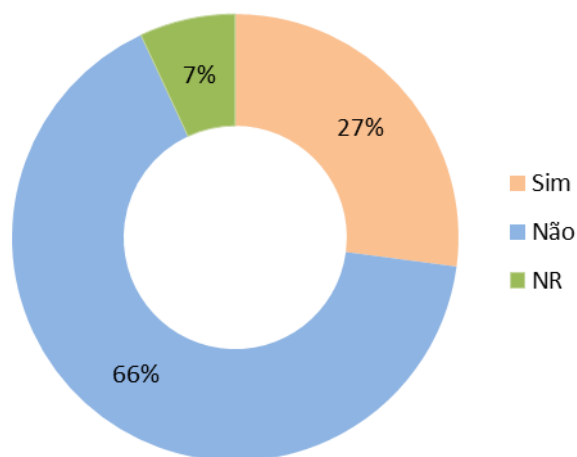


Figura 5.77 - Historial clínico – antecedentes familiares relevantes.

Chama-se a atenção para o estabelecimento termal ET5, no qual apenas 1 dos trabalhadores referiu ter familiares com antecedentes crónicos. Além disso, a dose efetiva anual calculada para este estabelecimento termal foi bastante elevada, devido em larga medida aos níveis de radão presentes no ar interior, o que é coerente com o enquadramento geológico da região, visto este

estabelecimento termal se situar numa região granítica e xistenta, na dependência da fraturação do maciço de direcção dominante NE-SW. Adicionalmente, o facto do sistema de ventilação ser pouco eficiente também contribui para que a dose seja bastante elevada.

Relativamente à existência de problemas crónicos nos trabalhadores, 17 % respondeu que têm ou já tiveram problemas crónicos e 8 % referiu que não se considera saudável.

## **5.19 Questionário da habitação**

Os questionários das habitações foram preenchidos aquando a deslocação à habitação para medição da concentração de radão no ar interior.

O questionário da habitação encontra-se dividido em 3 secções: I a identificação, II – caracterização da habitação e III – hábitos dos moradores.

Na secção da identificação o questionário aborda questões relativas ao tipo de habitação (TH) e à existência dos pisos. Na secção da caracterização a informação é relativa aos materiais de construção (MT), estado do pavimento (EP), estado da canalização (EC), pintura nas paredes (PP), abastecimento de água (AB), ventilação (V) e ventilação em todos os compartimentos (VTC). Por último, a terceira secção aborda a questão da abertura das janelas (AJ), a existência de ar condicionado (AC), água subterrânea (AS), ao consumo de álcool (AL), consumo de tabaco (TB) e n.º de horas de permanência na habitação (Tabela 5.124).

Tabela 5.124 - Respostas ao *Questionário da Habitação*

HET	N.º habitantes	TH		Piso				MT			EP			EC			PP			AB			V		VTC		AJ		AC		AS		AL		TB		HPH					
		MD	P	C	RC	1ª	2ª	CM	T	G	B	R	M	B	R	M	B	R	M	PB	F	PÇ	N	MC	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N								
HET1	2	x	--	x	x	--	--	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16					
HET3	2	x	--	--	x	x	--	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16				
HET4	2	x	--	--	x	--	--	x	x		x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16				
HET5	3	x	--	--	x	x	--	--	x	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16			
HET6	3	x	--	--	x	x	--	x	--	x	x	--	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16		
HET7	4	x	--	--	x	x	--	--	x	x	--	x	--	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	x	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16		
HET8	2	x	--	x	x	x	--	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	14-16	
HET9	3	x	--	--	--	x	--	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16	
HET10	2	x	--	--	x	--	--	x	x	x	x	--	--	x	--	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16
HET11	3	x	--	x	x	x	x	--	x	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16	
HET13	2	x	--	--	x	x	--	x	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16
HET14	2	x	--	x	x	x	x	x	--	x	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16	
HET15	3	--	x	--	--	--	x	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16	
HET16	3	--	x	--	x	--	--	x	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	--	--	x	14-16	
Total	36	12	2	4	12	9	3	10	10	8	13	1	0	12	2	0	12	2	0	14	0	2	14	0	14	0	14	0	0	14	5	9	0	14	2	12	--	--				

HET – Habitação do trabalhador por estabelecimento termal; MD – moradia; P – prédio; C – cave; RC – r/c; 1A – 1º andar; 2A – 2º andar; CM – cimento; T – tijolo; G – granito; B - bom; R – razoável; M – mau; PB – público; F – furo; PÇ – poço; N – natural; MC - mecânica

Na maioria das habitações dos trabalhadores seleccionados, o número de habitantes é de 2 pessoas (Figura 5.78).

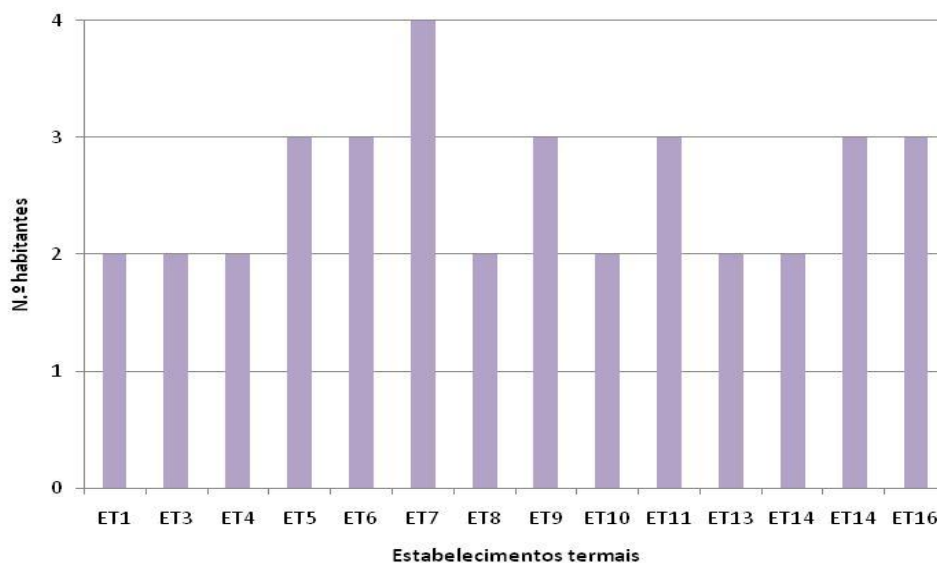


Figura 5.78 - N.º de habitantes na habitação dos trabalhadores seleccionados.

A maioria dos trabalhadores reside em moradias, das quais em 4 habitações as caves (Figura 5.79) (trabalhadores do ET1, ET8, ET11, ET14) são usadas como garagem ou arrumos.

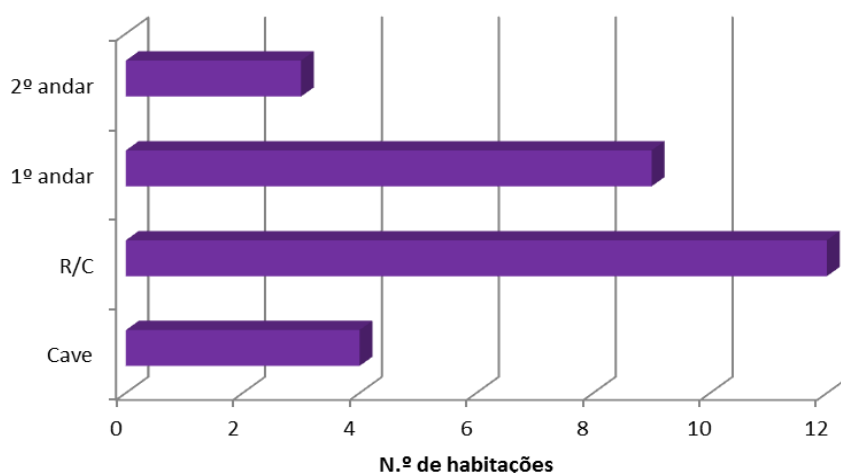


Figura 5.79 - Identificação do piso da habitação do trabalhador.

Contudo, verifica-se que nas habitações dos trabalhadores do ET8 e do ET11 as concentrações de radão no ar interior (sala) são bastante superiores às concentrações de radão no ar do posto de trabalho, pelo que a potencial exposição ao radão não será apenas ocupacional. A razão das elevadas concentrações de radão no ar interior deve-se ao granito existente nas habitações e ao facto de estas estarem localizadas em zonas predominantemente graníticas.

No entanto, as concentrações de radão no ar interior das habitações dos trabalhadores do ET1 e ET14 são inferiores às concentrações de radão no ar interior dos estabelecimentos termais. No ET1 a razão para este facto deve-se à habitação não possuir granito na sua constituição e não se situar numa zona granítica. No ET14 apesar a habitação estar localizada numa zona granítica e possuir



granito na sua constituição, a ventilação desta área (sala) deve ser suficiente para reduzir a concentração de radão no ar interior.

Contudo, em 28 % das habitações o granito é o material de construção predominante (Figura 5.80), o pavimento, as paredes e a pintura encontram-se em bom estado de conservação (Figura 5.81).

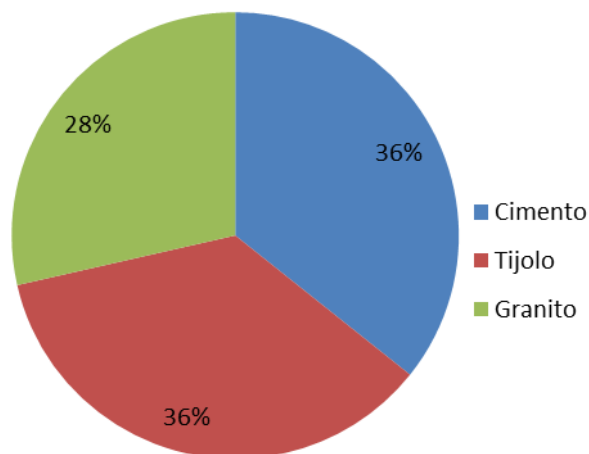


Figura 5.80 - Materiais de construção das habitações do trabalhador.

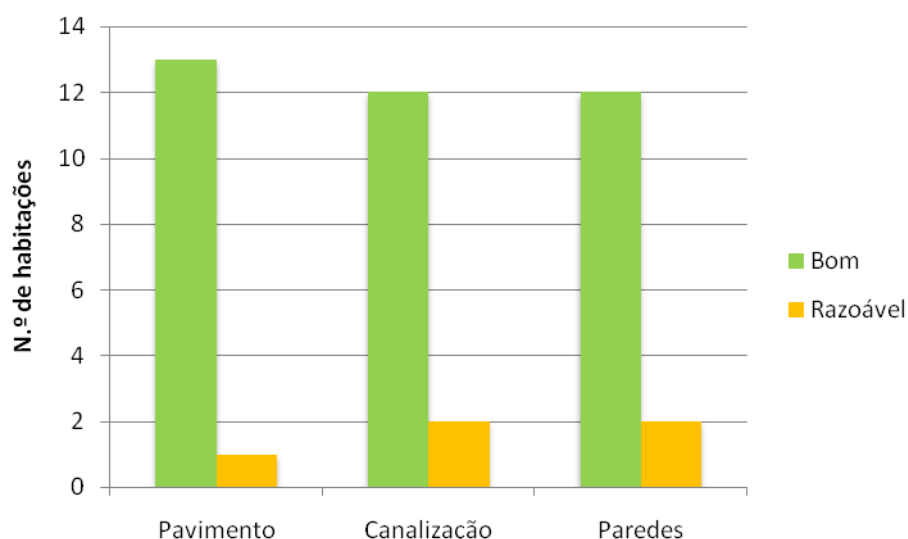


Figura 5.81 - Estado de conservação do pavimento, canalização e paredes das habitações dos trabalhadores.

Todas as habitações possuem abastecimento público de água, embora algumas também usem água do poço que funciona para rega. Em nenhum caso a água do poço das habitações dos trabalhadores é submetida a análise de controlo da qualidade da água, pelo que os proprietários desconhecem as características da água do poço. Como a água do poço (água subterrânea) não é utilizada no interior da habitação, nem para abastecimento, o radão presente na água não é inalado pelo trabalhador.

A ventilação existente nas habitações é essencialmente natural em todos espaços e em todas as habitações, tendo como hábito a abertura diária das janelas (1 ou 2 vezes por dia).

Em 57 % das habitações a concentração de radão é superior ao nível de referência da União Europeia, 300 Bq/m<sup>3</sup>, variando neste caso, entre 312 Bq/m<sup>3</sup> e 1877 Bq/m<sup>3</sup>. Em 43 % das

habitações: HET1, HET2, HET7, HET9, HET13 e HET15, os valores da concentração de radão no ar interior são inferiores ao nível de referência da UE ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ).

Os questionários da habitação revelaram ainda que nenhuma habitação possui ar condicionado. A existência de ar condicionado poderia ser uma forma de diminuir a pressão existente no espaço subjacente à construção, pelo que iria reduzir a concentração de radão no ar interior.

Nas habitações dos trabalhadores do ET9 e ET14 residem fumadores. No caso do ET9, a estimativa da dose interna por inalação do radão é inferior ao valor limite de dose para o público ( $1 \text{ mSv/ano}$ ), mas no ET14 esta estimativa da dose é superior pelo que poderá existir um risco adicional pela exposição ao radão.

## 6. DISCUSSÃO

Este estudo caracterizou a exposição ao radão por parte dos trabalhadores dos estabelecimentos termais, tendo em consideração o ambiente ocupacional e o ambiente habitacional.

Grande parte da investigação internacional sobre a exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais foi conduzida para a avaliação da concentração de radão no ar interior e concentração de radão na água. Contudo, os resultados obtidos neste estudo demonstram que nem sempre a dose efetiva anual nos estabelecimentos termais é superior ao valor limite da dose recomendado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica e pela União Europeia (UNSCEAR, 2000).

Nas Tabelas 6.1 a 6.3 são apresentados resumidamente os resultados obtidos nos estabelecimentos termais que participaram no presente estudo.

Tabela 6.1 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (concentração de radão na água, Bq/L)

	< 100	100-1000	> 1000
<b>Concentração de radão na água (Bq/L)</b>	ET1	ET1	--
	ET2	--	--
	ET3	ET3	--
	--	ET4	--
	--	--	ET5
	--	ET6	ET6
	--	ET7	--
	ET8	--	--
	ET9	--	--
	ET10	--	--
	ET11	ET11	--
	--	ET12	--
	--	ET13	--
	--	ET14	ET14
	ET15	--	--
	ET16	--	--
	ET17	--	--

Tabela 6.2 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (concentração de radão no ar interior, Bq/m<sup>3</sup>)

	< 300	300-400	> 400
<b>Concentração de radão no ar (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	ET1	ET1	ET1
	--	ET2	ET2
	ET1, ET3	ET1, ET3	ET1, ET3
	ET3, E2	--	--
	ET4	ET4	ET4
	--	--	ET5
	--	--	ET6
	--	ET7	ET7
	--	ET8	--
	ET9	ET9	ET9
	ET10	--	ET10
	ET11	ET11	ET11
	--	--	ET12
	ET13	ET13	ET13
	--	--	ET14
	ET15	--	--
	ET16	ET16	ET16

Tabela 6.3 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (dose efetiva anual, mSv/ano)

	< 6	6-10	10-20	> 20
<b>Dose efetiva anual (mSv/ano)</b>	ET1	--	--	ET1
	ET2	--	--	--
	ET3	--	--	--
	ET4	--	--	
	--	--	--	ET5
	--	ET6	--	--
	ET7	--	--	--
	ET8	--	--	--
	ET9	--	--	--
	ET10	--	--	--
	ET11	ET11	--	
	--	--	ET12	--
	ET13	--	--	--
	--	--	ET14	ET14
	ET15	--	--	--
	ET16	--	--	--

Relativamente à concentração de radão na água, agruparam-se os resultados das colheitas de água em 3 categorias:

- i) Inferior ao nível de referência (100 Bq/L);
- ii) Superior ao nível de referência mas inferior ao limite de ação (100 – 1000 Bq/L);
- iii) Superior ao limite de ação (1000 Bq/L).

Assim, verifica-se que a concentração de radão na água no ET2, ET8, ET9, ET10, ET15, ET16 e ET17 não excederam o nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM, 100 Bq/L. De facto, a água mineral natural dos estabelecimentos termais das ET2, ET8, ET16 e ET17 estão classificadas, segundo a concentração de radão, como não radioativas (Diegues et al., 2010).

No entanto, as águas minerais naturais dos ET9, ET10 e ET15 estão classificadas como sendo fortemente radioativas (ET9) e radioativas (ET10 e ET15), apesar dos resultados das colheitas efetuadas em diferentes pontos destes estabelecimentos termais (interior do estabelecimento termal, captação e furo) não excederem o nível de referência e nível de ação.

Contudo, existem casos em que a água do estabelecimento termal tem uma concentração de radão superior ao nível de referência como é o caso do ET4, ET7, ET12 e ET13. Em particular para os ET4 e ET13, as águas minerais naturais estão classificadas como sendo fortemente radioativas. Nos restantes estabelecimentos termais, ET7 e ET12, as águas são classificadas como não radioativas, contrariando os resultados obtidos em diversos pontos destes estabelecimentos termais.

Quanto aos resultados que excederam o limite de ação, 1000 Bq/L, apenas se destacam três estabelecimentos termais: ET5, ET6 e ET14. Com exceção do ET5 (abertura recente) as águas minerais naturais do ET6 e ET14 estão classificadas como fortemente radioativas. A razão da elevada concentração de radão na água natural do ET5 prende-se fundamentalmente com o enquadramento geológico e estrutura do maciço. Este estabelecimento termal situa-se numa região granítica, na dependência da fraturação do maciço.

Verifica-se ainda que em alguns estabelecimentos termais os resultados da concentração de radão na água são inferiores a 100 Bq/L (ET1, ET2, ET3, ET8, ET9, ET10, ET11, ET15, ET16 e ET17) e inferiores a 1000 Bq/L (ET1, ET3, ET4, ET6, ET7, ET11, ET12, ET13 e ET14). Os locais em que os valores da concentração de radão na água são inferiores a 100 Bq/L são na piscina termal, devido ao facto da água da piscina não ser substituída diariamente e por vezes ser misturada com água da torneira (com cloro). Por outro lado, as concentrações que excederam os 1000 Bq/L em diversos locais no interior do ET1, no furo do ET3 e na ORL do ET11. No ET3 a concentração de radão na água do furo é ligeiramente superior a 100 Bq/L (120 Bq/L), pelo que a concentração de radão na água no interior do estabelecimento termal é inferior ao nível de referência, tal como esperado.

No ET6 e ET14 os resultados da concentração de radão na água são inferiores ao limite de ação (mas superiores ao nível de referência) apenas na piscina termal, uma vez que nos restantes locais do estabelecimento termal todos os valores são superiores a 1000 Bq/L.

Relativamente à concentração de radão no ar interior foram estabelecidas 3 categorias:

- i) Inferior ao nível de referência recomendado pela EU, 300 Bq/m<sup>3</sup>;

- ii) Superior ao nível de referência mas inferior ao limiar de proteção da legislação nacional, (300 – 400 Bq/m<sup>3</sup>);
- iii) Superior a 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Apenas nos casos do ET3 (E2) e no ET15 os valores da concentração de radão no ar interior são inferiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>, apesar deste estabelecimento termal se situar numa região granítica.

No entanto, nos estabelecimentos termais do ET3 (E1), ET4, ET11, ET13 e ET16 os valores da concentração de radão no ar interior são inferiores a 300 Bq/m<sup>3</sup> e superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup>. Os resultados superiores a 400 Bq/m<sup>3</sup> correspondem todos ao período de inverno, uma vez que a concentração de radão no outono/inverno é superior à concentração de radão na primavera/verão, com exceção do ET4. Por outro lado, verifica-se ainda que, geralmente, a concentração de radão na área das piscinas é inferior a 300 Bq/m<sup>3</sup>, sobretudo durante o período de primavera/verão, uma vez que este é o período mais movimentado dos estabelecimentos termais e provavelmente o sistema de ventilação mecânico esteja em funcionamento permanentemente. No entanto, neste e em casos semelhantes, seria necessário adoptar uma metodologia que permitisse registar efectivamente os períodos de ventilação.

Quanto à radiação gama total todos os valores obtidos são relativamente baixos e inferiores a 400 (c.p.s.), sem se ter registado qualquer anomalia radiométrica.

No entanto, não foi possível obter qualquer relação entre os valores registados para a radiação gama total e para a taxa de dose de radiação gama nos diversos locais dos estabelecimentos termais, conforme a Tabela 6.4, pelo que seria necessário aprofundar o estudo seleccionando por um lado, um conjunto de estabelecimentos termais, em que os valores obtidos para as variáveis em causa sejam inconsistentes, e por outro lado adoptar uma metodologia diferente como por exemplo, no que diz respeito a equipamento e técnicas de medição.

Tabela 6.4 – Radiação gama total e taxa de dose de radiação gama por local de cada estabelecimento termal

ET	Local de medição	RGT (c.p.s.)	DRG ( $\mu\text{Sv/h}$ )
ET1	Piscina termal	135	0.690
	ORL	123	0.298
ET2	Gabinete médico	200	0.410
	Casa das máquinas	165	0.321
	ORL	180	0.312
ET3	Piscina termal (E1)	200	0.828
	ORL (E1)	250	0.405
	Piscina coletiva (E2)	175	0.562
	ORL (E2)	150	0.512
ET4	Área de vapores	100	0.156
	ORL	125	0.249
ET5	ORL	100	0.318
ET6	ORL	175	0.490
ET7	ORL	150	0.596
ET8	ORL	150	0.285
ET9	ORL	150	0.430
ET10	Piscina termal	125	0.419
ET11	Piscina termal	200	0.309
	Piscina lúdica	100	0.233
ET12	Zona técnica	195	0.406
ET13	ORL	100	0.294
ET14	Piscina termal	225	0.342
ET15	ORL	100	0.419
ET16	Área de vapores	155	0.436
	ORL	125	0.285
ET17	Corredor das termas	70	--
	Área de banhos	140	--
	ORL	80	--
	Água do furo	155	--

Apesar de não se ter verificado qualquer relação entre a taxa de dose de radiação gama e a radiação gama total, os valores são concordantes uma vez que não foram detetados valores anómalos ou demasiado elevados em nenhuma destas variáveis.

Por outro lado, a taxa dose de radiação gama em todos os estabelecimentos termais foi inferior a 1  $\mu\text{Sv/h}$  pelo que o contributo da dose externa para o cálculo da dose efetiva anual é desprezável.

Para a dose efetiva anual foram estabelecidas quatro categorias:

- i) Inferior a 6 mSv/ano, trabalhadores classificados com a categoria A;
- ii) Entre 6 e 10 mSv/ano, trabalhadores classificados com a categoria B;
- iii) Entre 10 e 20 mSv/ano, situação de exposição planeada, mas inferior ao limite de dose;
- iv) Superior a 20 mSv/ano, ultrapassam o limite de dose.

Verifica-se que em todos os estabelecimentos termais a dose efetiva anual é inferior a 6 mSv/ano, com exceção do ET1 (ORL período de inverno) e ET11 (na piscina lúdica durante o período de outono). Os trabalhadores destes estabelecimentos termais são classificados com a categoria B, de acordo com o Decreto-Lei n.º 222/2008.

No entanto, segundo a nova Diretiva 2013/59/EURATOM, baseada no documento *Best Safety Standards* (BSS), elaborado pela Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), que deverá ser transposta pelos estados membros até fevereiro de 2018, os trabalhadores da ORL (período de inverno) do ET1 e da piscina lúdica (período de outono) ET11, estão perante uma situação de exposição planeada a que se aplicam limites de dose. Nos restantes casos, em que a dose efetiva é igual ou inferior a 6 mSv/ano é exigido aos responsáveis pelos estabelecimentos termais que mantenham a exposição sob observação.

Os estabelecimentos termais que ultrapassam a dose efetiva anual prevista pela legislação comunitária, 20 mSv/ano, são o ET1 (ORL), ET5 (ORL) e ET14 (piscina termal). A razão para este facto deve-se à elevada concentração de radão no ar interior interior. Assim, os trabalhadores dos estabelecimentos termais da ET1 (ORL), ET6, ET11 (piscina lúdica), ET12 e ET14, são classificados com a categoria A, pelo que a entidade patronal deve cumprir os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica preconizados na Diretiva 96/29/EURATOM e Decreto-Lei n.º 222/2008, do local de trabalho ou ao nível da dose individual.

Quanto à estimativa de dose de exposição interna por inalação, resultante da concentração de radão nas habitações dos trabalhadores seleccionados verifica-se que a concentração de radão no ar interior das habitações ultrapassou o nível de referência estabelecido pela EU para o público na habitação dos trabalhadores dos seguintes estabelecimentos termais: ET4, ET5, ET6, ET8, ET10, ET11, ET14 e ET16. Dos resultados obtidos nestas habitações, apenas a concentração de radão no ar interior da habitação da ET5 e ET14 é inferior à concentração de radão obtida no respetivo posto de trabalho (Tabela 6.5 e 6.6).

Tabela 6.5 - Resultados globais obtidos nas habitações dos trabalhadores seleccionados (concentração de radão no ar interior, Bq/m<sup>3</sup>)

	< 300	300-400	> 400
<b>Concentração de radão no ar da habitação do trabalhador (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	HabTb ET1	--	--
	HabTb ET3	--	--
			HabTb ET4
			HabTb ET5
			HabTb ET6
	HabTb ET7		
			HabTb ET8
	HabTb ET9		
			HabTb ET10
			HabTb ET11
	HabTb ET13		
			HabTb ET14
	HabTb ET15		
			HabTb ET16



Tabela 6.6 - Resultados globais obtidos nas habitações dos trabalhadores selecionados (dose efetiva anual, mSv/ano)

	< 1	1-10	>10
<b>Dose efetiva anual na habitação do trabalhador (mSv/ano)</b>	HabTb ET1	--	--
	--	HabTb ET3	--
		HabTb ET4	
		HabTb ET5	
			HabTb ET6
		HabTb ET7	
		HabTb ET8	
	HabTb ET9		
		HabTb ET10	
			HabTb ET11
		HabTb ET13	
		HabTb ET14	
	HabTb ET15		
		HabTb ET16	

No entanto, apesar de na habitação do trabalhador dos ET3, ET7 e ET13 a concentração de radão no ar interior ser inferior a 300 Bq/m<sup>3</sup>, a dose efetiva foi superior ao limite anual para o público.

Apenas no ET9 e ET15 a dose de exposição interna por inalação, resultante da concentração de radão na habitação, foi inferior ao previsto na legislação comunitária.

Assim, em todas as habitações com concentração de radão superior a 300 Bq/m<sup>3</sup> devem ser tomadas medidas para a redução da concentração de radão no ar interior, nomeadamente melhorar as condições de ventilação da habitação. Todos os trabalhadores selecionados serão informados sobre os resultados obtidos nas suas habitações e da necessidade destas medidas de mitigação bem como da monitorização da concentração de radão, se for o caso, estendo-se aos restantes trabalhadores a necessidade de começar, pelo menos, a avaliar a concentração de radão nas suas habitações e eventualmente, se se justificar, fazer a sua monitorização.

De seguida será discutida a informação recolhida nos seguintes questionários: i) questionário do estabelecimento termal; ii) questionário do trabalhador e iii) questionário da habitação.

Quanto ao primeiro questionário (questionário do estabelecimento termal), importa referir que 76 % dos estabelecimentos termais funcionam sazonalmente, o que justifica o facto de as medições terem decorrido entre abril e outubro de cada ano. No entanto, o funcionamento sazonal limitou a realização de mais medições que foram sendo necessárias quer devido à avaria do equipamento de mediação da taxa de dose de radiação gama (GS3), quer devido à necessidade (após uma primeira análise dos dados) de realização de medições adicionais, sobretudo da taxa de dose de radiação gama, noutros locais que não foram definidos inicialmente.

No caso dos estabelecimentos termais com funcionamento anual, foi possível uma melhor gestão dos períodos de medição mesmo nos casos em que foi necessário anular medições devido à avaria do equipamento.

Este estudo envolveu 301 trabalhadores, sendo maioritariamente mulheres. Do total de trabalhadores dos estabelecimentos termais, 78 % permanecem no seu local de trabalho pelo menos há 10 anos. No entanto, a antiguidade do posto de trabalho é superior a 20 anos para 22 % dos trabalhadores. Isto significa que, alguns trabalhadores estão expostos a doses efetivas superiores aos limites estabelecidos pela legislação comunitária durante um longo período de tempo, com os riscos associados para a saúde neste tipo de exposição.

Contudo, foi referido pelos responsáveis do estabelecimento termal que existe rotatividade do posto de trabalho, por vezes diárias (auxiliando os restantes trabalhadores em períodos de maior afluência em determinado local de tratamento), por vezes quinzenais, em períodos de maior afluência a determinado tipo de tratamento (mudança de quinzena). Esta rotatividade torna-se importante na exposição ocupacional ao radão, uma vez que a concentração de radão no ar é diferente nos diversos locais do mesmo estabelecimento termal, pelo que a dose anual pode ser reduzida com esta rotatividade. A exceção é para o ET10 em que os trabalhadores permanecem as 8h diárias no mesmo posto de trabalho. A explicação para este facto deve-se à falta de profissionais neste estabelecimento termal, não sendo possível proceder à rotatividade dos trabalhadores.

Neste estudo, como referido anteriormente, participaram 17 estabelecimentos termais. Entre estes participaram, quer o estabelecimento termal com maior número de utilizadores a nível nacional, ET3, bem como o estabelecimento termal com menor número de utilizadores, o ET8, aberto ao público recentemente (2013).

Todos os responsáveis dos estabelecimentos termais mencionaram não possuírem um plano de controlo radiológico das instalações (nem ao nível da monitorização), embora 4 destes estabelecimentos termais, nomeadamente, ET1, ET3, ET4 e ET14, referiram ter efetuado um estudo relacionado com o radão no estabelecimento termal. Apenas um único estudo é público, nomeadamente, o estudo realizado no ET14, pelo que não nos foi facultado o acesso aos restantes estudos.

A importância do acesso a estes estudos prende-se com: i) comparação dos resultados obtidos nesses estudos com resultados do presente estudo; ii) necessidade de implementação de medidas de mitigação do radão; iii) sensibilização dos trabalhadores relativamente à exposição ao radão no posto de trabalho.

No decorrer deste estudo e nas várias deslocações aos estabelecimentos termais, foi constatado que os responsáveis têm todo o interesse nos resultados deste estudo, daí o “livre acesso” autorizado pelos responsáveis do estabelecimento termal. Todos os trabalhadores dos estabelecimentos termais também foram recetivos às questões da exposição, contudo demonstraram desconhecimento relativo ao tema de estudo.

Por outro lado, os estabelecimentos termais possuem serviços de segurança e saúde no trabalho, mas nenhum aplica os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica aos trabalhadores, visto estes serviços desconhecerem que, no decorrer da realização das suas tarefas se encontram numa situação de exposição existente e, neste caso, depois de conhecida a extensão e a

magnitude da exposição, é preciso decidir sobre a necessidade de otimização e controlo dessa exposição.

O tipo de ventilação mais comum em todos os estabelecimentos termais é a ventilação natural, com a exceção da área da piscina termal (nos casos em que existe), em que é a ventilação mecânica. O sistema e tipo de ventilação é essencial para fazer baixar os níveis de concentração de radão no ar interior. Assim, nos casos dos estabelecimentos termais que possuem apenas ventilação natural, observa-se que esta não é eficaz, porque por vezes as janelas não são abertas e o radão tende a acumular-se durante o dia.

Cerca de 78 % dos estabelecimentos termais possui piscina, no entanto, este não é o único local em que se obtiveram valores de dose efetiva superior aos limites de dose. Por vezes, na ORL e área de vapores, obtiveram-se valores de dose efetiva bastante superiores ao limite de dose.

Relativamente ao questionário do trabalhador, 48 % dos trabalhadores responderam ao questionário, tendo os trabalhadores do ET3 contribuído mais para esta percentagem, já que é o estabelecimento termal com maior número de trabalhadores.

A distância entre a habitação do trabalhador selecionado e o estabelecimento termal varia entre 1.0 e 11.0 km. Este facto é importante, uma vez que um dos critérios para a seleção do trabalhador foi a proximidade com o posto de trabalho, isto para garantir que o enquadramento geológico é idêntico ou semelhante.

A faixa etária dos trabalhadores dos estabelecimentos termais varia entre 21 e 57 anos, a média das idades é 38.6 anos. A média de idades mais baixa enquadra-se nos estabelecimentos termais com menos anos de abertura ao público, como por exemplo, ET11, ET13 e ET15, e a média de idades mais elevada corresponde ao estabelecimento termal mais antigo de Portugal Continental, ET3. A idade dos trabalhadores é importante para o estudo uma vez que o tempo de exposição intervêm no cálculo da dose efetiva anual e consequentemente tem influência nos riscos para a saúde e no desenvolvimento dos efeitos biológicos a longo prazo.

Tal como era esperado, foram os balneoterapeutas e os técnicos de termalismo que mais responderam ao questionário, uma vez que estas profissões são as mais representativas nos estabelecimentos termais estudados. Estas classes profissionais laboram em áreas como a ORL, duche e banheiras e spa termal, apresentando uma rotatividade de tarefas, tal como referido anteriormente pelos responsáveis do estabelecimento termal. Esta rotatividade de tarefas permite que a exposição diária ao radão seja menor, em comparação com a exposição caso o trabalhador permanecesse num único local, como por exemplo a ORL.

Por outro lado, verificou-se que 53 % dos trabalhadores ocupa o seu posto de trabalho há mais de 10 anos, fator importante para a estimativa da dose anual e no cálculo do risco.

Os trabalhadores foram questionados sobre o tipo de equipamento de proteção individual que disponível, tendo a maioria respondido luvas e bata/avental. Contudo, nenhum trabalhador referiu a existência de máscara. O uso da máscara é essencial para diminuir os níveis de radão que são inalados pelos trabalhadores, em particular nos locais onde foram detetados níveis elevados da concentração de radão.

Em 12 % dos trabalhadores foi referido que o seu posto de trabalho não possui ventilação (natural e mecânica). Este facto foi confirmado aquando das deslocações aos estabelecimentos termais. Sabe-

se que a ventilação é uma das medidas de mitigação mais importantes para reduzir os níveis de concentração de radão no ar interior. Referiram ainda que são feitas pausas diárias de 10 minutos nos períodos da manhã e tarde.

Quanto aos hábitos de vida dos trabalhadores, verificamos que 90 % não consome álcool, 81 % não fuma e 59 % pratica exercício físico. Estes hábitos são importantes para manter uma vida saudável, e o facto de não fumarem diminui o risco de cancro do pulmão.

A última secção do questionário do trabalhador refere-se ao historial clínico do trabalhador. A maior parte dos trabalhadores não têm problemas crónicos, não toma medicação e não possui antecedentes familiares relevantes. Em 92 %, os trabalhadores consideram-se saudáveis.

Relativamente aos resultados do questionário da habitação, a adesão dos trabalhadores (os que foram seleccionados) para realizar a medição da concentração de radão no ar interior da habitação foi elevada. Mostraram bastante interesse no resultado da medição, tendo sido cumpridas todas as instruções que lhes foram dadas aquando da colocação do equipamento na sua habitação, nomeadamente, os procedimentos para retirar o equipamento (CR39) e enviar para a FEUP.

Cerca de 86 % dos trabalhadores residem em moradias, habitando nelas em média 2.6 pessoas (ou seja 3 pessoas). Estas moradias são constituídas por r/c (86 %) e 1º andar (64 %). Apenas 29 % possui cave, cuja função é de garagem ou arrecadação. Os materiais de construção das habitações são: cimento e tijolo (71 %) e granito (57 %), nomeadamente ao nível de pavimento e revestimento de paredes da sala de estar/lareira (local de medição).

Todas as habitações são abastecidas por água da rede pública, no entanto, em duas habitações existe poço. A água do poço é utilizada para rega e lavagem exterior essencialmente no período de primavera/verão.

O estado das paredes, canalização e pavimento é bom, todos os compartimentos possuem ventilação natural e existe o hábito de abertura das janelas 1 a 2 vezes por dia (100 %). Por outro lado, nenhuma habitação possui sistema de climatização, nomeadamente ar condicionado. Em geral, não existe o hábito de consumo de álcool e apenas 14 % dos habitantes de cada moradia é fumador.

Com a informação recolhida pretendeu-se quantificar e classificar os estabelecimentos termais quanto aos vários fatores que podem contribuir para a exposição dos trabalhadores. Para isso, foi construída uma matriz de “risco relativo” (Tabela 6.7) em que para cada variável considerada, se o valor obtido for superior ao respetivo nível de referência atribui-se a ponderação 1, e no caso de a variável ser inferior ao nível de referência, atribuiu-se a ponderação zero. No final, somou-se e dividiu-se pelo número total de variáveis, obtendo-se o “risco relativo” de cada estabelecimento termal, com a contribuição da concentração de radão na habitação do trabalhador, variando entre 0 e 1.

Tabela 6.7 – Matriz de “risco relativo”

ET	CRnAr (> 300 Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (> 100 Bq/L)	Ventilação (Ausente/Fraca)	CRn HabTb (> 300 Bq/m <sup>3</sup> )	Taxa dose (> 1 mSv/ano)	Total
ET1	1	1	1	0	0	3 0.60
ET2	1	0	1	0	0	2 0.40
ET3	1	1	1	1	1	5 1.00
ET4	1	1	1	1	1	5 1.00
ET5	1	1	0	1	1	4 0.80
ET6	1	1	0	1	1	4 0.80
ET7	1	1	0	0	1	3 0.60
ET8	1	0	0	1	1	3 0.60
ET9	1	1	0	0	0	2 0.40
ET10	1	0	0	1	1	3 0.60
ET11	1	1	0	1	1	4 0.80
ET12	1	1	1	0	0	3 0.60
ET13	1	1	0	0	1	3 0.60
ET14	1	1	1	1	1	5 1.00
ET15	0	0	0	0	0	0 0.00
ET16	1	0	0	1	1	3 0.60

Pela análise da Tabela 6.7 podemos constatar que:

- i) O “risco relativo” é mais elevado para o ET3, ET4, ET5, ET6, ET11, ET14;
- ii) O “risco relativo” é médio para o ET1, ET7, ET8, ET10, ET12, ET13 e ET16;
- iii) O “risco relativo” é baixo para o ET2 e ET9.

Sempre que foi atribuída a ponderação 1 para a habitação também foi para o estabelecimento termal, tendo sido considerado como mais um fator de “risco” relativamente ao estabelecimento termal.

Na Tabela 6.8 encontram-se identificados os estabelecimentos termais em que se registaram valores da concentração de radão no ar interior superiores ao nível de referência, bem como nas habitações dos respetivos trabalhadores e em ambas as situações.

Tabela 6.8 – Identificação dos estabelecimentos termais em que se registaram valores da concentração de radão no ar interior superiores ao nível de referência, das habitações dos respetivos trabalhadores e em ambas as situações.

<b>ET</b>	<b>ET</b>	<b>HabTb</b>	<b>ET + HabTb</b>
<b>ET1</b>	x	--	--
<b>ET2</b>	x	--	--
<b>ET3</b>	x	x	x
<b>ET4</b>	x	x	x
<b>ET5</b>	x	x	x
<b>ET6</b>	x	x	x
<b>ET7</b>	x	--	x
<b>ET8</b>	x	x	x
<b>ET9</b>	x	--	--
<b>ET10</b>	x	x	x
<b>ET11</b>	x	x	x
<b>ET12</b>	x	--	--
<b>ET13</b>	x	x	x
<b>ET14</b>	x	x	x
<b>ET15</b>	--	--	--
<b>ET16</b>	x	x	x

Pela análise da Tabela 6.8 observa-se que em todos os estabelecimentos termais, com exceção do ET15, os níveis de radão obtidos foram superiores ao valor de referência.

Na habitação do trabalhador verifica-se que os níveis de referência para a concentração de radão no ar interior foram superiores nas habitações dos trabalhadores dos seguintes estabelecimentos termais: ET3, ET4, ET5, ET6, ET8, ET10, ET11, ET13, ET14 e ET16.

Na Tabela 6.9 é apresentado uma síntese da possível origem do radão/radiação por estabelecimento termal.

Tabela 6.9 – Origem do radão/radiação

ET	Solo	Materiais	Água	HabTb
ET1	X	X	--	--
ET2	X	X	--	--
ET3	X	X	X	X
ET4	X	X	X	X
ET5	X	X	X	X
ET6	X	X	X	X
ET7	X	X	X	--
ET8	X	X	--	X
ET9	X	X	X	--
ET10	X	X	--	X
ET11	X	X	X	X
ET12	X	X	X	--
ET13	X	X	X	X
ET14	X	X	X	X
ET15	--	--	--	--
ET16	X	X	--	X

Pela análise da tabela observa-se que o ET15 não é motivo de preocupação, uma vez que não ultrapassou os níveis de referência para as diversas variáveis: concentração de radão no ar interior, concentração de radão na água, taxa de dose de radiação gama, radiação gama total, dose efetiva anual e concentração de radão no ar interior da habitação do trabalhador. A razão deste facto prende-se com a arquitetura recente do estabelecimento termal e a existência de um bom sistema de ventilação (mecânico e natural), apesar de este estabelecimento termal estar localizado numa região granítica. A habitação do trabalhador ET15 também não oferece motivos de preocupação, uma vez que os resultados não ultrapassaram o nível de referência para a concentração de radão no ar interior e estimativa da dose.

Por outro lado, as habitações dos trabalhadores dos estabelecimentos termais: ET3, ET4, ET5, ET6, ET8, ET10, ET11, ET13, ET14 e ET16, são motivo de preocupação, uma vez que contribuem para a potencial exposição ao radão, adicionalmente ao meio ocupacional. Nestes locais, o radão/radiação gama tem origem no solo e nos materiais de construção.





## 7. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões desta tese, tendo em conta os objetivos definidos no capítulo 2, destacando algumas recomendações possíveis para a redução da concentração de radão no ar interior e concluindo com propostas para pesquisas futuras dando continuidade a este trabalho. No Anexo 4 são apresentadas as tabelas resumo com todos os resultados das medições efetuadas para as diversas variáveis.

### 7.1 Principais conclusões

Embora não existindo estudos sobre a exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais portugueses, os resultados desta tese são de uma maneira geral consistentes com a literatura existente, pretendendo assim contribuir com nova informação relativamente ao tema em questão.

Os resultados suportam as conclusões de estudos anteriores. Além disso, fornecem dados relativos à exposição ocupacional ao radão dos estabelecimentos termais portugueses. Assim, os resultados específicos são:

- Cerca de 50 % dos resultados da concentração de radão na água mineral natural são inferiores ao nível de referência preconizado pela UE, enquanto 18 % dos resultados excederam o limite de ação.
  - ✓ A razão dos resultados com elevada concentração de radão na água mineral natural prende-se essencialmente com o enquadramento geológico e estrutura do maciço do estabelecimento termal.
  - ✓ Os resultados com níveis inferiores de radão na água foram obtidos nas piscinas termais, pelo facto de a água não ser substituída diariamente e utilizar cloro para manter os parâmetros microbiológicos aceitáveis.
- Em 88 % dos resultados, a concentração de radão no ar interior é superior ao nível de referência recomendado pela UE e ao limiar de proteção da legislação nacional. A principal razão para estes resultados deve-se ao enquadramento geológico dos estabelecimentos termais, nomeadamente pelo facto de se situarem numa região granítica.
  - ✓ Apesar da condicionante geológica (predominantemente granítica) em 18 % dos estabelecimentos termais os níveis da concentração de radão no ar interior foram inferiores aos níveis de referência recomendados pela UE. Nestes casos, a explicação para este facto deve-se ao eficaz sistema de ventilação existente no interior do estabelecimento termal (sistema de ventilação mecânico).
  - ✓ Na maioria dos estabelecimentos termais os resultados mais elevados da concentração de radão no ar interior foram obtidos durante o período de inverno, o que é coerente com a literatura consultada e outros estudos desenvolvidos, em que a concentração de radão no ar interior no

outono/inverno é superior à concentração de radão no ar interior na primavera/verão.

- ✓ Geralmente, os valores da concentração de radão no ar interior das piscinas termais durante o período de primavera/verão são inferiores ao nível de referência recomendado pela UE, com exceção dos valores obtidos nas piscinas termais do ET4, ET6 e ET7 durante o período de verão, e os valores obtidos na concentração de radão no ar da piscina termal do ET14, durante a primavera.
- Todos os estabelecimentos termais apresentam uma radiação gama total baixa sem ter sido registado qualquer anomalia radiométrica.
- O nível de referência aplicável à exposição externa devido à radiação gama emitida pelos materiais de construção no interior dos edifícios foi inferior ao limite previsto pela legislação comunitária, 1 mSv/ano em todos os estabelecimentos termais.
  - ✓ Atendendo à Diretiva 2013/59/EURATOM, em 86 % dos estabelecimentos termais os trabalhadores são classificados com a categoria B.
- Em 21 % dos estabelecimentos termais foi ultrapassada a dose efetiva anual prevista pela legislação comunitária. A principal razão para este facto deve-se essencialmente à elevada concentração de radão no ar interior do estabelecimento termal.
- A estimativa da dose de exposição interna por inalação, considerando só a dose de exposição interna para o cálculo da dose efetiva, resultante da concentração de radão nas habitações dos trabalhadores selecionados, ultrapassou limite de dose efetiva para a exposição da população, 1 mSv/ano, em 50 % das habitações. Nas habitações apenas foi medida a concentração de radão no ar interior, excluindo a medição da taxa de dose de radiação gama para o cálculo da dose efetiva.
  - ✓ Apenas em 14 % das habitações a concentração de radão no ar interior foi inferior à concentração de radão obtida no respetivo posto de trabalho.
  - ✓ Verifica-se que em 29 % das habitações, a dose efetiva foi superior ao limite de dose efetiva anual para o público, apesar da concentração de radão no ar interior ser inferior ao nível de referência.

Relativamente aos dados obtidos através dos questionários, realça-se o seguinte:

- A maioria dos trabalhadores permanece no seu posto de trabalho pelo menos há 10 anos, o que poderá representar um risco adicional para a saúde devido às doses anuais a que estão expostos.
- Na maioria dos estabelecimentos termais existe rotatividade nos postos de trabalho. Uma vez que a estimativa da dose efetiva anual é diferente em diversos locais do estabelecimento termal, esta rotatividade tende a diminuir a exposição ocupacional ao radão do trabalhador.

- A maioria dos responsáveis dos estabelecimentos termais desconhece o nível de exposição ocupacional ao radão existente no estabelecimento termal. Nenhum estabelecimento termal possui um plano de controlo radiológico das instalações.
- Todos os trabalhadores demonstraram desconhecer totalmente qualquer informação relativamente à exposição ao radão.
- Apesar de os estabelecimentos termais possuírem serviços de segurança e saúde no trabalho, nenhum aplica os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica aos trabalhadores, desconhecendo que no decorrer da realização das tarefas no estabelecimento termal existe exposição a fontes de radiação natural (situação de exposição existente).
- Existem alguns estabelecimentos termais que só possuem sistema de ventilação natural, tendo-se observado que este não é suficiente para fazer baixar os níveis de concentração de radão no ar interior. Por outro lado, 10 % dos locais não apresentam qualquer tipo de ventilação.
- Não existe, por hábito nem por regra, uso de EPI ao nível respiratório (máscara), em nenhum dos estabelecimentos termais.
- Cerca de 19 % dos trabalhadores são fumadores, pelo que o risco de efeitos na saúde é teoricamente agravado.
- A maioria das medições das habitações foram realizadas em moradias, ao nível do r/c (sala).
  - ✓ Todas as habitações são abastecidas por água da rede pública, quando existe poço este é utilizado apenas para a rega.
  - ✓ 57 % das habitações são construídas com granito.
  - ✓ Todos os moradores têm por hábito abrir as janelas 1 a 2 vezes por dia.
  - ✓ 14 % dos habitantes das moradias são fumadores.

## 7.2 Medidas de mitigação/recomendações

A complexidade das relações entre a exposição ocupacional ao radão nos estabelecimentos termais e os seus efeitos na saúde implica uma atitude prudente, expressa no cuidado da interpretação e da generalização dos juízos obtidos com os resultados desta pesquisa, que são únicos no caso de Portugal.

No entanto, um conjunto de recomendações gerais podem ser derivadas desta tese, tendo em consideração os resultados obtidos nos estabelecimentos termais e nas habitações:

i) Responsáveis dos estabelecimentos termais:

- ✓ Implementar um sistema de vigilância, monitorização e proteção radiológica dos trabalhadores nos estabelecimentos termais, sempre que se justifique;
- ✓ Adquirir e fornecer aos trabalhadores EPI, em particular máscaras, a serem usadas nos estabelecimentos termais, sempre que se justifique, otimizando assim a exposição;

- ✓ Obrigatoriedade na rotatividade da realização das tarefas, otimizando assim a exposição;
- ✓ Sensibilizar os trabalhadores para a aderirem às medidas de proteção propostas pelos responsáveis dos estabelecimentos termais, como por exemplo, o uso de máscara.
- ✓ Melhorar as condições de ventilação dos edifícios dos estabelecimentos termais, sempre que se justifique, nomeadamente dotar todos os locais de trabalho com um sistema de ventilação eficaz e se possível, com climatização. A ventilação deve ser efetuada a partir os pisos inferiores.

ii) Trabalhadores/Posto de trabalho:

- ✓ Uso adequado e sempre que se justifique do EPI fornecido pelo empregador, nomeadamente máscara.

iii) Moradores/Habitações:

- ✓ Adotar soluções arquitetónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo, se possível;
- ✓ Melhorar as condições de ventilação da habitação, nomeadamente ao nível do arejamento através da abertura diária das janelas e portas;
- ✓ Sempre que possível, proceder a medidas de isolamento da exalação de radão (pintura, selagem de fracturas, etc.).

## 7.3 Estudos futuros

A avaliação da exposição ocupacional ao radão em estabelecimentos termais é um dos principais desafios para os responsáveis deste setor de atividade, tendo como objetivo a proteção sanitária dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes.

No caso particular do tema desta tese, é necessário prosseguir os trabalhos para avaliar a exposição ocupacional ao radão numa amostra maior, quer dos estabelecimentos termais quer das habitações dos trabalhadores.

Em estudos futuros importa conhecer, em particular, a taxa de dose de radiação gama nas habitações dos trabalhadores e o contributo desta para a estimativa da dose efetiva anual. Importa também prolongar no tempo o período de recolha de dados, podendo ir até 1 ano de recolha em contínuo, devido às elevadas flutuações da concentração de radão ao longo do tempo.

No âmbito da exposição ocupacional ao radão e em particular, no âmbito deste estudo de investigação, há ainda muito a fazer e parte desse trabalho caberá aos estabelecimentos termais desencadear pois o desenvolvimento deste projeto foi até onde lhe foi permitido chegar em função dos objetivos delineados inicialmente, da duração prevista, dos custos e logística necessária.

O estudo esteve sempre condicionado pela sazonalidade do funcionamento destes estabelecimentos termais, pelo equipamento que avariou, em muitos casos, devido aos valores (demasiado) elevados encontrados para a concentração de radão, e mesmo pela variabilidade da concentração de radão ao longo do tempo, sendo necessário proceder de futuro a medidas integradas com duração até 1 ano, o que pode colocar alguns constrangimentos pela sazonalidade do funcionamento.

Foram detetadas situações bastante anómalas da concentração de radão, quer no ar interior quer na água, que podem já servir de base para atuação no sentido de diminuir a dose de exposição e assim o risco para a saúde dos trabalhadores, mesmo ao nível das habitações dos trabalhadores.

Relativamente aos responsáveis pelos estabelecimentos termais, incluindo os responsáveis pela Segurança e Saúde no trabalho podem:

- ✓ Devem ser definidas zonas controladas e zonas vigiadas;
- ✓ Devem monitorizar os locais de trabalho em que os trabalhadores possam receber uma dose efetiva superior a 1 mSv/ano;
- ✓ Efetuar uma vigilância médica dos trabalhadores expostos por serviços especializados;
- ✓ Realizar medidas integradas da concentração de radão por períodos de pelo menos 3 meses até 1 ano;
- ✓ Realizar medidas integradas de taxa de dose por períodos de pelo menos 3 meses até 1 ano com dosímetros termoluminescentes (TLD), que além de serem bastante económicos são muito eficazes, evitando assim os problemas dos valores elevados para a concentração de radão que ocorreram com os medidores de taxa de dose de radiação gama usados neste estudo (GS3). No entanto, a maior desvantagem do TLD é a necessidade de calibração bem como o tempo para a leitura da dose.
- ✓ Adotar a mesma metodologia de medição para todas as habitações de todos os trabalhadores;
- ✓ Identificar e quantificar a influência do desenho arquitetónico do edifício;
- ✓ Avaliar e quantificar a eficiência dos sistemas de ventilação dos estabelecimentos termais;
- ✓ Elaborar procedimentos para melhorar as condições de ventilação dos estabelecimentos termais em permanência.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, A. (2013). Calculation of gamma radiation dose rate and radon concentration due to granites used as building materials in Iran. *Radiation Protection Dosimetry* 155(3): 335–342. doi:10.1093/rpd/nct003.
- Abo-Elmagd, M., Daif, M.M. (2010). Calibration of CR-39 for radon-related parameters using sealed cup technique. *Radiation Protection Dosimetry* 139(4): 546–550. doi:10.1093/rpd/ncp300.
- Al Zoughool, M., Krewski, D. (2009). Health effects of radon: a review of the literature. *International Journal of Radiation Biology* 85(1): 57-69. doi:10.1080/09553000802635054.
- Alberigi, S., Pecequilo, B.R., Lobo, H.A., Campos, M.P. (2011). Assessment of effective doses from radon levels for tour guides at several galleries of Santana Cave, Southern Brazil, with CR-39 detectors: preliminary results. *Radiation Protection Dosimetry* 145(2-3): 252–255. doi:10.1093/rpd/ncr054.
- Amaral, E.M., Alves, J.G., Carreiro, J.V. (1992). Doses to the Portuguese population due to natural gamma radiation. *Radiation Protection Dosimetry* 45(1-4): 541-543.
- American Nuclear Society. Health effects of low-level radiation.  
URL:<http://www.ans.org/pi/ps/docs/ps41.pdf>.
- APA (2012). Qualidade do Ar em Espaços Interiores, Um Guia Técnico, Agência Portuguesa do Ambiente, Laboratório Referência do Ambiente. Edição: Agência Portuguesa do Ambiente.  
URL: [http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Manual\\_QAI\\_APA\\_Maio2010.pdf](http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Manual_QAI_APA_Maio2010.pdf).
- APIAM (2010). Águas Minerais Naturais e Águas de Nascente, Livro Branco, APIAM, Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente.  
URL:[http://extranet.apiam.pt/upload/banner/ficheiro/20\\_2013%20%20LIVRO%20BRANCO1.pdf](http://extranet.apiam.pt/upload/banner/ficheiro/20_2013%20%20LIVRO%20BRANCO1.pdf).
- ASTM D5072-09e1 (2009). Standard Test Method for Radon in Drinking Water, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ATP (2012). Termas em Portugal – A oferta e a procura em 2011, Associação Termas de Portugal, Direção de Estudos e Planeamento Estratégico/ Departamento de Informação Estatística.  
URL:<http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/ProTurismo/estat%C3%ADsticas/an%C3%A1lisesestat%C3%ADsticas/termasemportugal/Anexos/Termas%20em%20Portugal%202011.pdf>.
- ATP (2014). Termas em Portugal – A oferta e a procura em 2013, Associação Termas de Portugal, Direção de Estudos e Planeamento Estratégico/ Departamento de Informação Estatística.  
URL:<http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/ProTurismo/estat%C3%ADsticas/an%C3%A1lisesestat%C3%ADsticas/termasemportugal/Anexos/Termas%20em%20Portugal%202013.pdf>.
- BEIR VI (1998). Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon, Washington, DC, National Academy of Sciences. pp. 516 pages. ISBN: 978-0-309-05645-8.

- Bernardes, A.C.C. (2009). *Análise dos métodos de auditoria à qualidade do ar interior – RSECE*. Dissertação apresentada na Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Campos, M.P., Pecequillo, B.R.S., Mazzilli, B.P. (2010).  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{212}\text{Pb}$  exposures at a Brazilian SPA. *Radiation Protection Dosimetry* 141(2): 210-214. doi:10.1093/rpd/ncq167.
- Carvalho, F.P. (2007). O ciclo hidrológico e os radionuclídeos da série do Urânio. *Tecnologia da Água* I (2007): pp. 20-25.
- Carvalho, F.P., Oliveira J.M. (2006). Polonium in cigarette smoke and radiation exposure of lungs. *Proceedings of the 15th Radiochemical Conference. Czechoslovak Journal of Physics* 56(Suppl. D): 697-703.
- Coelho, F.M.P.N. (2006). *Distribuição de radão em habitações da região de Vila Real: condicionantes geológicas*. Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para obtenção do grau de Mestre em Biologia e Geologia para o ensino.
- Correia, R.M.P.R.G. (2010). *Modelação da dispersão da radiação gama correlacionada com a exalação do radão na Península Ibérica*. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente.
- Cortez, J.A.S., Pereira, A.J.S.C., Silva, A., Lourenço, C., Rodrigues, C., Gomes, C.S.F., Lourenço, C., Rodrigues, F.J.T., Teixeira, F., Chaminé, H.I., Silva, J.B.P., Guedes, J.F., Cortez, J.A.S., Marques, J.M., Carvalho, J.M., Teixeira, J., Aires-Barros, L., Gomes, L.M.F., Canto, M.J., Costa, M.S., Morais, P.V. (2012). *Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Centro*, Edição: Mare Liberum-Editora, para a FEDRAVE. ISBN 978-972-8046-17-0.
- Darby, S., Whitley, E., Silcocks, P., Thakrar, B., Grenn, M., Lomas P., Miles, J., Reeves, G., Fearn, T., Doll, R. (2004). Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: a case-control study. *British Journal of Cancer* 78(3): 394-408.
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J.M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., Heid, I., Kreinbrock, L., Kreuzer, M., Lagarde, F., Mäkeläinen, I., Muirhead, C., Oberaigner, W., Pershagen, G., Ruano-Ravina, A., Ruosteenoja, E., Rosario, A.S., Tirmarche, M., Tomásek, L., Whitley, E., Wichmann, H.E., Doll, R., (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330(7845): 223-227.
- Datye, V.K., Hopke, P.K., Fitzgerald, B., Raunemaa, T.M. (1997). Dynamic model for assessing  $^{222}\text{Rn}$  and progeny exposure from showering with radon-bearing water. *Environmental Science & Technology* 31(6): 1589–1596. doi:10.1021/es9601548.
- DGEG (2012). *Termas em Portugal – A oferta e a procura em 2012*, Direção- Geral de Energia e Geologia, Associação Termas de Portugal.  
URL: <http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/ProTurismo/estat%C3%ADsticas/an%C3%A1lisesestat%C3%ADsticas/termasemporugal/Anexos/Termas%20em%20Portugal%20-%202012.pdf>.



- DGEG (2013). Termas em Portugal – A oferta e a procura em 2013, Direção- Geral de Energia e Geologia, Associação Termas de Portugal.  
URL:<http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/ProTurismo/estat%C3%ADsticas/an%C3%A1lisesestat%C3%ADsticas/termasemportugal/Anexos/Termas%20em%20Portugal%202013.pdf>.
- DGS (2002). Vinte Anos de Diagnóstico Precoce, Edição Direcção-Geral da Saúde, Cadernos da Direcção-Geral da Saúde, N.º1. ISSN 1645-4146.
- DGS (2014). Portugal - Doenças oncológicas em números – 2014, Edição Direcção-Geral da Saúde. ISSN: 2183-0746.
- DGS (2015). Guia Técnico N.º 1 – vigilância da saúde dos trabalhadores expostos a radiação ionizante, Edição Direcção-Geral da Saúde – Divisão de Saúde Ambiental e Ocupacional.
- Diegues, P., Martins, V. (2010). Águas termais riscos e benefícios para a saúde. Encontro Técnico – Água e Saúde, 19 de Maio de 2010, Caparica, Lisboa.
- Dinis, M.L. (2012). Radiações Ionizantes. Apontamentos teóricos da aula de Seminários de Higiene Ocupacional do curso de Mestrado em Engenharia da Segurança e Higiene Ocupacionais, da Faculdade de Engenharia da Universidade Porto.
- Dinis, M.L.P.A. (2007). Modelos Fenomenológicos de Distribuição Intercompartimental de Substâncias Radioactivas. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Dinis, M.L., Fiúza, A. (2005). Simulation of Liberation and Dispersion of Radon from Uranium Mill Tailings, in: Environmental Contamination from Uranium Facilities and Remediation Measures” pp 63-70. Proceedings of the International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Facilities and Remediation Measures, 262 p., Lisbon, Portugal, 11 - 13 February 2004. IAEA Scientific & Technical Publications 2005 – Austria. Hardcover STI/PUB/1228, ISBN 92-0-104305-8.
- EPA (1997). United States Environmental Protection Agency, Health Effects Assessment 14 Summary Tables, Radionuclide Carcinogenicity Slope Factors: HEAST.  
URL:[http://www.epa.gov/radiation/heast/docs/heast\\_ug\\_0401.pdf](http://www.epa.gov/radiation/heast/docs/heast_ug_0401.pdf), 01 April 2011.
- EPA (2013). United States Environmental Protection Agency, Consumer’s Guide to Radon Reduction, How to fix your home. URL:<http://www.epa.gov/radon>, EPA 402/K-10/005 | March 2013.
- Erdogan, M., Ozdemir, F., Eren, N. (2013). Measurements of radon concentration levels in thermal waters in the region of Konya, Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49(4): 567–574. doi:10.1080/10256016.2013.815182.
- Ferreira, A.M.S. (2009). Radioactividade das Águas da Região Subterrâneas do Minho. Dissertação apresentada na Universidade do Minho, Escola de Ciências para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Ambiente Ramo de especialização em Qualidade Ambiental.
- Ferreira, M.J.M.M., Coelho, M.J.P. (2009). O radão nos edifícios – minimização da perigosidade, 71-91. URL: <http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/1885/1/70-91.pdf>.

- Frasquilho, M. (2007). SPA Termal – Oportunidades de investimento e negócio. Espírito Santo Research Sectorial. URL:<http://www.bancointernacional.cv/sfecv/cms.aspx?plg=f4e53a61-4be5-4e3b-ad40-12b64c9b4469>.
- Gnoni, G.A., Czerniczyniec, M., Canoba, A.C., Palacios, M.A. (2008). Natural radionuclide activity concentrations in spas of Argentina, AIP Conference Proceedings 1034: 242-245, Buzios, Rio de Janeiro (Brazil), October 07–12, 2007. <http://dx.doi.org/10.1063/1.2991218>.
- Gonçalves, C.V.M., Pereira, A.J.S.C. (2007). Radionuclides in groundwater of the Serra do Buçaco region (Central Portugal). Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists, Lisbon, 6p.
- Gray, A., Read, S., McGale, P. and Darby, S. (2009). Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. *BMJ* 338: a3110. doi:10.1136/bmj.a3110.
- IAEA (1994). Convention on Nuclear Safety, Vienna, Austria, IAEA, 1994. URL: <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/convention-nuclear-safety>.
- IAEA (2003). Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, jointly sponsored by the International Atomic Energy Agency and the International Labour Office. Safety Reports Series No. 33, IAEA, Vienna. URL:[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1168\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1168_web.pdf).
- IAEA (2011). Safety Standards Radiation for protecting people and the environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards Interim edition N° GSR Part 3 (Interim), Vienna. URL:[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/p1531interim\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/p1531interim_web.pdf)
- ICRP (1994). International Commission on Radiological Protection. Protection against  $^{222}\text{Rn}$  at home and at work. ICRP Publication. URL:[http://www.icrp.org/docs/ICRP\\_Statement\\_on\\_Radon\\_AND\\_Lung\\_cancer\\_risk\\_from\\_radon\\_and\\_progeny\(for\\_consultation\).pdf](http://www.icrp.org/docs/ICRP_Statement_on_Radon_AND_Lung_cancer_risk_from_radon_and_progeny(for_consultation).pdf).
- IGM (1998). Recursos geométricos em Portugal Continental. Baixa entalpia. Direção de Serviços de Gestão e Recursos Geológicos. Divisão de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos. URL:<http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/076.pdf>.
- ITN (2010). Radão – um gás radioativo de origem natural. Instituto Tecnológico e Nuclear. Departamento de Protecção Radiológica. e Segurança Nuclear. URL: [http://www.itn.pt/docum/relat/radao/itn\\_gas\\_radao.pps](http://www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps).
- Jalili-Majraeshin, A., Behtash, A., Rezaei-Ochbelagh, D. (2012). Radon concentration in hot springs of the touristic city of Sarein and methods to reduce radon in water. *Radiation Physics and Chemistry* 81(7): 749–757. doi:10.1016/j.radphyschem.2012.03.015.
- Kávási, N., Kobayashi, Y., Kovács, T., Somlai, J., Jobbágy, V., Nagy, K., Deák, E., Berhész, I., Bender, T., Ishikawa, T., Tokonami, S., Vaupotic, J., Yoshinaga, S., Yonehara, H. (2011). Effect of radon measurement methods on dose estimation. *Radiation Protection Dosimetry* 145(2-3): 224-232. doi:10.1093/rpd/ncr044.

- Knutsso, G., Olofsson, B.O. (2002). Radon content in groundwater from drilled wells in the Stockholm region of Sweden. NGU-BULL 439: 79-85.
- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A., Kaynak, G. (2014), Measurements of radon concentrations in waters and soil gas of Zonguldak, Turkey. Radiation Protection Dosimetry 162(3): 375-381. doi:10.1093/rpd/nct308.
- Köteles, G.J. (2007). Radon Risk in Spas? CEJOEM 13(1): 3-16.  
[http://www.omfi.hu/cejoem/Volume13/Vol13No1/CE07\\_1-01.html](http://www.omfi.hu/cejoem/Volume13/Vol13No1/CE07_1-01.html).
- Lao, K.Q. (1990). Controlling indoor radon: measurement, mitigation, and prevention. New York: Van Nostrand Reinhold. ISBN 0442237545.
- LNEG (2001). *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*. Instituto Geológico e Mineiro Versão Online no site do LNEG: [http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea).
- Louro, A., Belchior, A., Cunha, G., Gil, O.M., Peralta, L. (2010). Riscos para a saúde humana da exposição ao radão habitacional: um caso de estudo na região da Guarda. Décimas Quartas Jornadas Portuguesas de Proteção Contra Radiações. Complexo Interdisciplinar do Instituto Superior Técnico de Lisboa, pp.6.
- Mäkeläinen, I., Arvela, H., Voutilainen, A. (2001). Correlations between radon concentration and indoor gamma dose rate, soil permeability and dwelling substructure and ventilation. Science of the Total Environment 272(1-3): 283-289.
- Marques, J.M. (2012). O Papel dos recursos hidrominerais e geotérmicos na economia Portuguesa. Revista Ingenium, 131: 31- 33.
- Martínez, D. A. (1999). TRANSRAD: un modelo para el transporte del radón del suelo al interior de viviendas en estado estacionario y transitorio. Tesis doctoral presentada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- Mazilli, B.P., Filho, C.R.R., Kodama, Y., Suzuki, F.F., Dellamano, J.C., Marumo, J.T., Sanches, M.P., Bellintani, R.V.S.A., Gili, S.A.B.F.N. (2002). Noções básicas de protecção radiológica. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- McColl, N. (2010). New HPA radon advice published. Environmental Radon, Newsletter Autumn 2010, ISSUE 64.  
URL: [http://www.ukradon.org/cms/assets/gfx/content/resource\\_2755cs17693c91d9.pdf](http://www.ukradon.org/cms/assets/gfx/content/resource_2755cs17693c91d9.pdf).
- Moreira, J.V.A. (2011). Radiobiologia – efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de proteção das radiações ionizantes. Dissertação apresentada na Universidade da Beira Interior, Covilhã para obtenção do grau de Mestre em Medicina.
- Mueller, A. (1998). Handbook of Radon in Buildings: Detection, Safety, & Control. SYSCON Corporation, Brookhaven National Laboratory. ISBN-13: 000-0891168230.
- NCI (2011). Radon e Câncer. National Cancer Institute.  
URL: <http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/radon>, consultado 09 fevereiro 2015.
- Nikolopoulos, D., Vogiannis, E., Petraki, E., Zisos, A., Louizi (2010). Investigation of the exposure to radon and progeny in the thermal spas of Loutraki (Attica-Greece): Results from

- measurements and modelling. *Science of the Total Environment* 408(3): 495–504. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.057.
- Nikolov, J., Todorovic, N., Pantic, T.P., Forkapic, S., Mrdja, D., Bikit, I., Krmar, M., Veskovic, M. (2012). Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia. *Radiation Measurements* 47(6): 443-450. doi:10.1016/j.radmeas.2012.04.006.
- Nikolov, J., Todorović, N., Bikit, I., Pantić, T.P., Forkapić, S., Mrđa, D., Bikit, K. (2014). Radon in thermal waters in south-east part of Serbia. *Radiation Protection Dosimetry* 160(1-3): 239-243. doi:10.1093/rpd/ncu094.
- Okuno, E., Yoshimura, E.M. (2010). *Física das Radiações*. Oficina de textos.
- OMS - Organização Mundial da Saúde (2007). Radon and cancer. Fact Sheet Nr. 291. WHO, Genève.
- Pereira, A.J.S.C., Dias, J.M.M., Neves, L.J.P.S. e Godinho, M.M. (2001). O Gás Radão em Águas Minerais Naturais: Avaliação do Risco de Radiação no Balneário das Caldas de Felgueira (Portugal Central). *Memórias e Notícias, Publicações do Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, n.º 1, Coimbra.
- Pereira, A.J.S.C., Neves, L.J.P.F., Godinho, M.M., Dias, J.M.M. (2003). Natural radioactivity in Portugal: Influencing geological factors and implications for land use planning. *Radioprotecção* 2(2-3): 109-120. ISSN 0874-7016.
- Pereira, A.J.S.C., Neves, L.J.P.F. (2006). Radon in Portugal, 9th International Symposium on Metal Ions in Biology and Medicine, Lisboa, Maio, 19-23, 2006.
- Pereira, A., Neves, L., Gomes, C., Figueiredo, J., Vicente, A. (2007). Concentração do gás radão em habitações da região de Castelo Branco (Portugal Central) e factores geológicos condicionantes, VI Congresso Ibérico de Geoquímica e XV Semana de Geoquímica, Vila Real. URL: file:///C:/Users/Joana%20Silva/Downloads/Pereira\_et\_al.pdf.
- Pereira, A.J.S.C., Neves, L.J.P.F., Pinto, P.G.N. (2008). Concentração do gás radão em estabelecimentos de Ensino da Região Centro – um risco natural a considerar na requalificação dos edifícios escolares. *Radioprotecção* 99(16-17): 99-105.
- Pilktyte, L., Butkus, D. (2005). Influence of gamma radiation of indoor radon decay products on absorbed dose rate. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(2): 65-72. http://dx.doi.org/10.1080/16486897.2005.9636848.
- Pinto, M.G.O.M., Mendes, A.P., Pereira, A.J.C., Gomes, C.R., Vicente, A.P., Neves, L.F.N. (2007). Avaliação dos níveis de radioactividade natural em Valesim (Seia-Portugal Central). VI Congresso Ibérico de Geoquímica e XV Semana de Geoquímica, Vila Real.
- Pinto, P.G.N., Pereira, A.J.S.C., Vicente, A.M.P., Duarte, R., Azevedo, D., Neves, L.J.P.F. (2008). Avaliação dos níveis de radioatividade natural em águas subterrâneas das regiões de Castelo Branco e Oliveira do Hospital. I Congresso Nacional de Protecção contra Radiações, Actas, Lisboa, pp. 4.
- Radolić, V., Vuković, B., Smit, G., Stanić, D., Planinić, J. (2005). Radon in the spas of Croatia. *Journal of Environmental Radioactivity* 2005, 83(2): 191–198.

- Robertson, A., Allen, J., Laney, R., Curnow, A. (2013). The cellular and molecular carcinogenic effects of radon exposure: a review. *International Journal of Molecular Sciences* 14(7): 14024-14063. doi:10.3390/ijms140714024.
- Ródenas, C., Gómez, J., Soto, J., Maraver, F. (2008). Natural radioactivity of spring water used as spas in Spain. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 277(3): 625-630.
- RPIIR (2010). Radon Gas in Ireland. Radiological Protection Institute of Ireland and the Health Service Executive April.  
URL:<http://www.hse.ie/eng/services/Publications/Environmentalhealth/Radon%20Gas%20in%20Ireland.pdf>.
- Sá, R., Araújo, D., Matos, V. (2012). Escola no Porto fecha por excesso de radão, consultado 20 junho 2014:URL:<http://www.rtp.pt/noticias/index.php?article=582358&tm=8&layout=122&visual=61>.
- Sabroux, J. C. (2000). Rationale for the Measurement of Radon-222 in the Deep Layers of Lake Nyos, Cameroon. (<http://pagespersoorange.fr/mhalb/nyos/2000/radon.PDF> em 25/07/2005).
- Santos, T.O., Rocha, Z., Cruz, P., Gouvea, V.A., Siqueira, J.B., Oliveira, A.H. (2014). Radon dose assessment in underground mines in Brazil. *Radiation Protection Dosimetry* 160(1-3): 120-123. doi:10.1093/rpd/ncu066.
- Schmid, K., Kuwet, T., Drexler, H. (2010). Radon in Indoor Spaces. An underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Ärzteblatt International* 107(11): 181–186. doi:10.3238/arztebl.2010.0181.
- Silva, A.S., Dinis, M.L., Diogo, M.T. (2013). Occupational Exposure to Radon in Thermal Spas, Book chapter in: *Occupational Safety and Hygiene*, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.273-277. ISBN: 9781138000476, London: Taylor & Francis, 2013.
- Silva, A.S., Dinis, M.L., Fiúza, A. (2014). Research on Occupational Exposure to Radon in Portuguese Thermal Spas, Book chapter in: *Occupational Safety and Hygiene II*, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp. 273 -277. ISBN: 978-1-138-00144-2, London: Taylor & Francis.
- Silva, A.S., Dinis, M.L. (2015). The presence of radon in thermal spas and their occupational implications – a review, Book chapter in: *Occupational Safety and Hygiene III*, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.353-355, ISBN 978-1-138-02765-7, London: Taylor & Francis.
- Silva, A.S., Dinis, M.L., Pereira, A.J.S.C., Fiúza, A. (2015). Radon Levels in Portuguese Thermal Spas, Proceedings of the: “Third International Conference on Radiation and Application in Various Fields of Research, RAD2015”, Budva, Montenegro, June 08-12, 2015.
- Simões, L.M.F., Santos, J., Valente, J., Lopes, M., Borrego, C. (2007). Concentração de radão em espaços interiores da área de Viseu, 9ª Conferência Nacional do Ambiente, Aveiro, Abril, 18-20, 2007.

- Song, G., Wang, X., Chen, D., Chen, Y. (2011). Contribution of (222) Rn-bearing water to indoor radon and indoor air quality assessment in hot spring hotels of Guangdong, China. *Journal Environmental Radioactivity* 102(4): 400-406. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.02.010.
- Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G., Gundogdu, O. (2012). Evaluation of radon concentration in well and tap waters in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 150 (2): 207–212. doi:10.1093/rpd/ncr394.
- Teixeira, F. (2012). O Termalismo na região Centro. Águas Minerais naturais e de Nascente da Região Centro., cap. XIII, 263-300, Edição: Mare Liberum-Editora, para a FEDRAVE. ISBN 978-972-8046-17-0.
- Tomasek, L. (2013). Lung cancer risk from occupational and environmental radon and role of smoking in two Czech Nested case-control studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10(3): 963-979; doi:10.3390/ijerph10030963.
- UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, United Sales publication E.00.IX.3.
- UNSCEAR (2006). Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume II.
- US-EPA (2003). United States Environmental Protection Agency, Air and Radiation, Assessment of Risks from Radon in Homes. <http://www.epa.gov/radiation/docs/assessment/402-r-03-003.pdf>.
- Vaupotič, J., Streil, T., Tokonami, S., Žunic, Z.S. (2013). Diurnal variations of radon and thoron activity concentrations and effective doses in dwellings in Niška in Banja, Serbia. *Radiation Protection Dosimetry* 157(3): 375-382. doi:10.1093/rpd/nct145.
- Veloso, B., Nogueira, J.R., Cardoso, M.F. (2012). Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal – An ecological study. *Cancer Epidemiology* 36(1):26-32. doi: 10.1016/j.canep.2011.10.005.
- WHO (1986). Indoor air quality research. Report on a WHO meeting, Stockholm, August, 27-31, 1986.
- WHO (2009). WHO handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective, ISBN 978 92 4 154767 3. URL: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf).
- WHO (2011). World Health Organization. An overview of the evidence on environmental and occupational determinants of cancer. International Conference on Environmental and Occupational Determinants of Cancer, Asturias, Spain, March 17-18, 2011.
- WHO-IARC (1998). Man-made Mineral Fibres and Radon. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Volume 43, 9p.
- Wiwanitkit, V. (2009). Radon in natural hot spring pools in Thailand: Overview. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 91 (1): 1-4, doi:10.1080/02772240802028609.
- Yarar, Y., Günaydi, T., Celebi, N. (2006). Determination of radon concentrations of the Dikili geothermal area in western Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 118(1): 78–81. doi:10.1093/rpd/nci321.

- Zhukovsky, M., Varaksin, A., Pakholkina, O. (2014). Statistical analysis of observational study of the influence of radon and other risk factors on lung cancer incidence. *Radiation Protection Dosimetry* 160(1-3): 108-111. doi:10.1093/rpd/ncu069.
- Ziane, M.A., Lounis-Mokrani, Z., Allab, M. (2014). Exposure to indoor radon and natural gamma radiation in some workplaces at Algiers, Algeria. *Radiation Protection Dosimetry* 160(1-3): 128-133. doi:10.1093/rpd/ncu058.

## LEGISLAÇÃO

Diretiva 96/29/EURATOM.

Diretiva 2013/59/EURATOM.

Decreto-Lei n.º 86/90 de 16 de Março.

Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março.

Decreto-Lei n.º 165/2002 de 17 de Julho.

Decreto-Lei n.º 167/2002 de 18 de Julho.

Decreto-Lei n.º 142/2004 de 11 de Junho.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.

Decreto-Lei n.º 222/2008 de 17 de Novembro.

Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.

Lei n.º 54/2015 de 22 de junho.

Portaria n.º 1220/2000 de 29 de Dezembro.

Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro.

Recomendação 2001/928/EURATOM.



## **ANEXOS**

### **Anexo 1. Informação 90/DSAO (DGS)**



19.JUL.2013 9739

1899-2012  
**112 anos**

Direção-Geral de Saúde  
www.dgs.pt



Ministério da Saúde

Faculdade de Engenharia da Universidade  
do Porto  
Dr.ª Maria de Lurdes Dinis  
Rua Dr. Roberto Frias  
4200- 465 Porto

Sua referência

Sua comunicação de

Nossa referência  
DGS/DSAO/006223/20/06/2013

Data  
2013

ASSUNTO: Apoio a projeto de investigação sobre exposição ocupacional ao radão em SPAS.

Para os devidos efeitos junto informação n.º 90/DSAO, de 08 de julho de 2013, referente ao assunto em epígrafe, com o respetivo parecer.

Com os melhores cumprimentos.

Coordenador do Programa Nacional de Saúde Ocupacional

(Carlos Silva Santos)

Alameda D. Afonso Henriques, 45  
1049-005 LISBOA

Tel: 21 843 05 00 Fax: 21 843 05 30  
Email: geral@dgs.pt

1/1

Na resposta indicar sempre a nossa referência

PARECER ☐

PROPOSTA ☐

INFORMAÇÃO ☒

PARA:	À Consideração Superior	Nº:	90/DSAO
DE:	Coordenador do Programa Nacional de Saúde Ocupacional	Data:	08/07/2013

ASSUNTO: Apoio a projeto de investigação sobre exposição ocupacional ao radão em SPAS

Pretende a licenciada Ana Sofia Silva desenvolver um projeto de investigação com um trabalho de campo de avaliação da exposição dos profissionais dos SPAS e temas a radão de origem natural. Este estudo será alargado a uma base geográfica e populacional.

Trata-se de um projeto de grande interesse em saúde ocupacional mas também de interesse em saúde pública e estão reunidas as condições científicas e técnicas para o êxito da investigação.

Afim de facilitar o trabalho de campo e a colaboração dos serviços locais de saúde, e correspondendo ao solicitado pela autora, sou do parecer que este projeto deve ser considerado de interesse para a Direcção-Geral da Saúde pelo que merece todo o apoio formal, logístico e técnico/científico da responsabilidade da Coordenação do Programa Nacional de Saúde Ocupacional.

*Amendo*  
*Francisco George*  
19.7.2013

Francisco George  
Diretor-Geral da Saúde

Coordenador do Programa Nacional de Saúde Ocupacional

*[Assinatura]*  
(Carlos Silva Santos)

*Concordo. Aconselho*  
*de acordo com o Diretor-Geral.*  
18.7.2013  
*[Assinatura]*

*Almeida Soares*  
*Coordenador do Programa*  
*de Saúde Ocupacional*  
9/07/2013  
*[Assinatura]*

## **Anexo 2. Questionário do trabalhador**



### QUESTIONÁRIO TRABALHADOR

Fui informado(a) sobre os objetivos gerais do estudo e compreendi com clareza o que me é pedido, como participante. Os dados que fornecer, bem como os resultados das medições que forem efetuadas, serão estritamente confidenciais. Assim que os procedimentos do estudo o permitam, esses dados e resultados serão tornados anônimos, isto é, deixarão de poder ser relacionados com a minha identificação.

I – Identificação	
Identificação do estabelecimento termal:	
Nome do trabalhador:	
Morada:	
Freguesia:	Concelho:
Naturalidade:	
Profissão:	Formação Profissional:
Sexo: M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> Idade:	Tlm/Tf:

II – Posto de Trabalho
1. Identificação posto de trabalho: Receção <input type="checkbox"/> ORL <input type="checkbox"/> Duche e Banheira <input type="checkbox"/> Spa <input type="checkbox"/> Fisioterapia <input type="checkbox"/> Outro <input type="checkbox"/> Especifique:
1.1. Carga horária (horas/dia):
2. Caracterização do posto de trabalho: 2.1. Existência de ventilação: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> 2.2. Permanência no mesmo posto de trabalho: Sim <input type="checkbox"/> Quantifique: 2 horas <input type="checkbox"/> 4 horas <input type="checkbox"/> 6 horas <input type="checkbox"/> 8 horas <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Observação:
2.3. Uso de Equipamento de Proteção Individual: Sim <input type="checkbox"/> Especifique: Máscara <input type="checkbox"/> Bata <input type="checkbox"/> Luvas <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
2.4. Uso de dosímetro: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
3. Antiguidade no posto de trabalho: < 5anos <input type="checkbox"/> 5≥10 anos <input type="checkbox"/> 10≥20 anos <input type="checkbox"/> ≥21 anos <input type="checkbox"/>
4. Pausas no trabalho (10 minutos): Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>

III – Hábitos de Vida
Consumo de álcool: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Consumo de tabaco: Sim <input type="checkbox"/> N.º cigarros/dia: Não <input type="checkbox"/>
Prática alimentação saudável: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Prática exercício físico: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>

IV – Historial Clínico
Altura:                      Peso:
Vacinação Atualizada: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Submetido a Cirurgias: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Submetido a transfusões de sangue: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Problemas médicos crónicos: Sim <input type="checkbox"/> Especifique: Não <input type="checkbox"/>
Antecedentes familiares relevantes: Sim <input type="checkbox"/> Especifique: Não <input type="checkbox"/>
Toma de medicação diária: Sim <input type="checkbox"/> Identifique: Não <input type="checkbox"/>
Perturbações do sono: Sim (causa diagnosticada) <input type="checkbox"/> Especifique: Não <input type="checkbox"/>
Reações alérgicas: Sim <input type="checkbox"/> Especifique: Não <input type="checkbox"/>
Considera-se saudável: Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Obrigada pela colaboração.





### **Anexo 3. Questionário da habitação**



## QUESTIONÁRIO HABITAÇÃO

I – Identificação			
Código:			
Nome do trabalhador:			
Local de trabalho:			
Morada:			
Freguesia:	Concelho:	Tlm/Tf:	
N.º habitantes:	Sexo: M	F:	
Tipo de habitação: Moradia :	N.ºpisos:	Apartamento:	Tipologia:

II – Caracterização da habitação			
1. Construção			
1.1.Tipo de solo:			
1.2.Tipo de construção:			
1.3.Materiais de construção predominantes:			
1.4.Estado do pavimento:			
1.5.Estado da canalização:			
1.6. Existe cave: Sim    Não		1.6.1. N.º de pessoas que habitam	
2. Pintura Interior			
2.1.Bom Estado:		2.2.Razoável:	
		2.3.Mau Estado:	
3. Sistema de abastecimento de água			
3.1.Público:		3.2.Particular:	
3.2.2.Poço:		3.2.1.Furo:	
4. Ventilação			
4.1.Natural:		4.2. Artificial:	
4.3. Ventilação natural em todos os compartimentos			
4.3.1.Sim		4.3.2. Não:	
		4.3.3.Quais:	

III – Hábitos dos Moradores			
1. Abertura das janelas:			
1.1.Sim		N.º de vezes/dia:	
		Não:	
Uso de água subterrânea: Sim:                      Não			
Consumo de álcool: Sim                      Não:			
Consumo de tabaco: Sim                      Não:			
Utilização de ar condicionado: Sim                      Não:			
N.º horas de permanência na habitação:			

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_



## **Anexo 4. Questionário do estabelecimento termal**



## QUESTIONÁRIO ESTABELECIMENTO TERMAL

1. IDENTIFICAÇÃO SPA TERMAL			
			N.º Código:
1.1. Designação Spa Termal:			
1.2. Morada			
1.3. Freguesia		1.4. Concelho	
1.5. Telefone		1.6. Fax	
1.7. Email:			
2. Concessionário:			
2.1. Morada:			
2.2. Telefone		2.3. Fax	
2.4. Email:			
3. Titular do Estabelecimento Termal:			
3.1. Morada:			
3.2. Telefone:		3.3. Fax:	
3.4. Email:			
4. Época Termal :                      a			
4.1. Horário de Funcionamento - Segunda a Sexta:			
Sábado:		Domingo:	
4.2. N.º total de Trabalhadores:		4.3. M:	4.4. F:
4.5. Antiguidade trabalhadores: ≤5 anos:      ≤10 anos:      ≤15 anos:      ≥ 20 anos:			
4.6. Há rotatividade dos trabalhadores: Sim      Não			
4.7. N.º Dirigentes:	4.8. N.º Médicos:	4.9. N.º Técnicos:	
4.10. N.º Administrativos:	4.11. Chefia:	4.12. Operários:	
4.12. Outros:	Especifique:		
5. N.º Termalistas/ano:			
6. Indicações Terapêuticas:			

2. MATÉRIA-PRIMA (água mineral natural)			
N.º Captações:		Tipo de tratamento:	
		S	N
1	Existem águas quimicamente distintas		
	a) Possui um sistema próprio de abastecimento de água mineral natural devidamente autorizado e identificado		
2	A rede de distribuição de água mineral natural apenas possui pontos de utilização nas cabines destinadas aos tratamentos termais		

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO			
		S	N
1. Tipo de construção:			
2. Avaliação de Riscos			
2.1.	Existência de avaliação de riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores		
2.2.	Já foi feito algum estudo/medição de radão		
3. Pessoal			
3.1.	Dispõe de pessoal técnico com as qualificações adequadas ao desempenho das respectivas funções		
3.2.	Os trabalhadores recebem formação adequada no domínio da segurança e saúde no trabalho, tendo em conta as respectivas funções e o posto de trabalho		
4. Segurança e manutenção das instalações			
4.1.	Dispõem de planos e programas de manutenção específicos		
4.2.	Plano de controlo radiológico das instalações		
5. Serviços de segurança e saúde no trabalho			
5.1.	Existência de serviços SST:		
	a) Segurança no Trabalho		
	b) Medicina no Trabalho		
6. Condições gerais do edifício			
6.1.	O pé-direito livre mínimo é de 3m nos locais de trabalho e zonas de serviço		
6.2.	O pé-direito livre mínimo é de 2,20m, nos locais destinados exclusivamente a armazém, instalações sanitárias e vestiários		
6.3.	Todos os locais dispõem de ventilação diretamente para o exterior? <b>Se não, quais?</b>		
6.4.	O estabelecimento termal dispõe de mais que um piso		
7. Abastecimento de Água			
7.1.	Existência de rede pública de abastecimento de água		
7.2.	Existência de captação privada (furo, poço) destinada a consumo humano – <b>exclui as captações de água mineral natural</b>		
7.3.	A água destinada a consumo humano é a utilizada nas operações de limpeza e desinfecção dos equipamentos terapêuticos		
8. Águas residuais			
8.1.	Existência de rede pública de saneamento		
9. Climatização			
9.1.	Existência de equipamentos de climatização, que permitam o <b>aquecimento e/ou arrefecimento.</b> <b>Se não, quais?</b>		
10. Gabinetes médicos N°:			
10.1.	Existência de <b>iluminação e ventilação</b> naturais <b>Se não, quais?</b>		



11. Locais de tratamento termal			
11.1.	Os locais de tratamento possuem um sistema adequado de <b>ventilação</b> que permita a renovação natural e permanente do ar		
11.2.	Os locais de tratamento possuem um sistema adequado de <b>climatização</b> que ofereça boas condições de temperatura e humidade		
11.3.	Existem salas de banho e de duche N.º banhos _____ N.º duches _____		
11.4.	Existem técnicas ou tratamento termal que recorram ao <b>uso de banheiras</b>		
11.5.	Existem salas com <b>duches de agulheta</b> N.º _____		
11.6.	Existem salas de <b>duche de Vichy</b> N.º _____		
11.7.	Existência de <b>buvete</b>		
11.8.	Existem salas de <b>tratamentos de ORL</b> N.º salas _____ N.º postos _____ + _____ + _____		
11.9.	Existem locais de <b>tratamentos com lamas</b>		
11.10.	Existe piscina		
12. Instalações sanitárias e vestiários para utentes			
12.1.	Existência de <b>instalações sanitárias</b> para os utentes		
12.2.	Existência de <b>vestiários</b> destinados aos utentes		
13. Instalações sanitárias e vestiários para trabalhadores			
13.1.	Existência de <b>instalações sanitárias</b> para os trabalhadores		
13.2.	Existência de <b>vestiários</b> para os trabalhadores		
14. Armazenagem			
14.1.	Dispõe de zonas de armazenagem para os diferentes tipos de produtos		
14.2.	Inexistência de produtos de desinfeção nas salas de tratamentos e técnicas termais		

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



## **Anexo 4. Tabelas resumo dos resultados obtidos**



Tabela A4. 1 – Resultados das medições efetuadas no ET1

Local	ET1	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	Pis1Med1	449	n/a	135	0.148
R/C	Pisc1Med2	238	6	135	0.565
R/C	Cabine duplaMed1	674	n/a	135	n/a
R/C	Cabine duplaMed2	436	n/a	135	n/a
R/C	Pisc2Med1	784	n/a	135	n/a
R/C	Pisc2Med2	333	1	200/250	n/a
R/C	Buvete	n/a	965	135	n/a
R/C	Buvete	n/a	973	135	n/a
1º Piso	ORLMed1	3479	976	145	n/a
1º Piso	ORLMed2	3119	n/a	100	0.223
1º Piso	Emanatório	n/a	785	135	n/a
1º Piso	Emanatório	n/a	755	135	n/a

Tabela A4. 2 - Resultados das medições efetuadas no ET2

Local	ET2	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	GM	577	n/a	200	0.410
R/C	CM	422	n/a	165	0.321
R/C	ORL	707	26	180	0.312
--	Furo	--	41	--	--
--	Buvete	--	59	--	--

Tabela A4. 3 - Resultados das medições efetuadas no ET3

Local	ET3	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	Pisc1Med1	517	15	200	0.645
R/C	ORL1Med1	329	51	250	0.414
R/C	Pisc1Med2	267	n/a	200	0.911
R/C	Pisc2Med1	159	14	175	0.281
R/C	ORL1Med2	187	n/a	250	0.395
2º Piso	ORL2Med1	152	40	150	0.256
R/C	Duche vichy1Med1	724	n/a	175	n/a
R/C	Corredor tratamentosMed1	692	n/a	265	n/a
R/C	Duche vichy1Med2	258	n/a	175	n/a
R/C	Duche vichy2Med1	155	n/a	250	n/a
R/C	Corredor acesso PiscMed1	566	n/a	235	n/a
--	Furo 1	--	120	--	--
--	Nascente	--	86	--	--

Tabela A4. 4 - Resultados das medições efetuadas no ET4

Local	ET4	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	PiscMed1	274	7	110	n/a
R/C	PiscMed2	333	n/a	110	n/a
R/C	Corredor nebulizaçãoMed1	401	n/a	100	n/a
R/C	Corredor nebulizaçãoMed2	429	n/a	100	n/a
1º Piso	ORLMed1	502	112	125	n/a
1º Piso	ORL Med2	489	n/a	125	0.249
2º Piso	VapMed1	453	n/a	100	0.329
2º Piso	VapMed2	465	n/a	100	0.292
2º Piso	Duche vichyMed1	437	n/a	100	n/a
2º Piso	Duche vichyMed2	495	n/a	100	n/a
--	Furo 1	--	380	--	--
--	Furo 2	--	759	--	--

Tabela A4. 5 - Resultados das medições efetuadas no ET5

Local	ET5	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	ORLMed1	4335	5195	100	0.318
R/C	ORLMed1	n/a	5325	100	0.318
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	1912	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med2	n/a	n/a	100	n/a
--	Furo 1	--	6949	--	--
--	Furo 1	--	6775	--	--
--	Furo 2	--	5810	--	--

Tabela A4. 6 - Resultados das medições efetuadas no ET6

Local	RT6	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
1º Piso	PiscIMed1	2181	1137	200	0.490
1º Piso	Duche <i>vichy</i> Med1	1163	n/a	150	n/a
2º Piso	Cabine spaMed1	878	n/a	150	n/a
2º Piso	VapMed1	1173	n/a	200	n/a
3º Piso	ORLMed1	1190	718	175	n/a
3º Piso	Varanda descansoMed1	953	n/a	175	n/a
--	Furo 1	--	1376	--	--
--	Furo 2	--	1334	--	--

Tabela A4. 7 - Resultados das medições efetuadas no ET7

Local	ET7	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	1148	n/a	275	n/a
R/C	Duche jatoMed1	1681	n/a	275	
R/C	BuveteMed1	1615	471	200	n/a
1º Piso	ORLMed1	366	102	150	0.396
1º Piso	PiscMed1	423	n/a	275	n/a
--	Furo 1	--	1446	--	--
--	Furo 2	--	423	--	--
--	Nascente	--	478	--	--

Tabela A4. 8 - Resultados das medições efetuadas no ET8

Local	ET8	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	ORLMed1	347	44	150	0.286
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	361	n/a	175	n/a
--	Furo 1	--	57	--	--
--	Furo 1	--	53	--	--

Tabela A4. 9 - Resultados das medições efetuadas no ET9

Local	ET9	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	ORLMed1	169	75	150	0.417
R/C	ORLMed2	143	n/a	150	0.442
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	376	45	200	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med2	360	n/a	--	--
--	Furo 1	--	41	--	--

Tabela A4. 10 - Resultados das medições efetuadas no ET10

Local	ET10	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
3º Piso	PiscMed1	121	1	125	0.551
3º Piso	PiscMed2	204	n/a	125	0.286
3º Piso	ORLMed1	169	20	100	n/a
3º Piso	ORLMed2	269	n/a	100	n/a
3º Piso	Duche <i>vichy</i> Med1	406	n/a	100	n/a
3º Piso	Duche <i>vichy</i> Med2	229	n/a	100	n/a
--	Furo AC1	--	47	--	--
--	Furo AC2	--	48	--	--
--	Furo AC3	--	50	--	--

Tabela A4. 11 - Resultados das medições efetuadas no ET11

Local	ET11	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	Pisc1Med1	618	0.1	200	0.295
R/C	Casa máquinasMed1	481	n/a	165	n/a
R/C	Corredor acesso Pis1Med1	1079	n/a	165	n/a
R/C	Pisc1Med2	358	n/a	100	n/a
R/C	Casa máquinasMed2	305	n/a	165	n/a
R/C	Corredor acesso Pis1Med2	377	n/a	165	n/a
R/C	Pisc3Med2	209	n/a	100	0.323
1º Piso	Pisc3Med1	641	n/a	100	0.233
1º Piso	ORLMed1	255	120	165	n/a
--	Furo	--	69	--	--

Tabela A4. 12 - Resultados das medições efetuadas no ET12

Local	ET12	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	ATMed1	1692	n/a	195	0.406
R/C	PiscReabMed1	813	n/a	90	n/a
R/C	PiscCamasMed1	862	n/a	145	n/a
--	Furo 1	--	452	--	--
--	Furo 2	--	207	--	--
--	Furo 2	--	199	--	--

Tabela A4. 13 - Resultados das medições efetuadas no ET13

Local	ET13	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
Piso -1	ORLMed1	312	127	100	0.297
Piso -1	ORLMed2	498	n/a	100	0.290
R/C	Corredor termalMed1	116	n/a	100	n/a
R/C	Corredor termalMed2	132	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	112	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med2	155	n/a	100	n/a
R/C	PiscMed1	73	0	115	n/a
R/C	PiscMed2	101	n/a	115	n/a
--	Furo 1	--	189	--	--



Tabela A4. 14 - Resultados das medições efetuadas no ET14

Local	ET14	CRnAr (Bq/m <sup>3</sup> )	CRnÁgua (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	PiscMed1	1494	953	225	0.332
R/C	PiscMed2	2808	n/a	225	0.352
R/C	ORLinaMed1	2298	2624	105	n/a
R/C	ORLinaMed2	1643	n/a	105	n/a
R/C	ORLpulMed1	2298	1461	105	n/a
R/C	ORLpulMed2	n/a	n/a	105	n/a
R/C	Duche jatoMed1	1130	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	2298	2549	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med2	2873	n/a	100	n/a
R/C	ZTMed1	1971	2654	175	n/a
--	Furo 1	--	3090	--	--
--	Furo 2	--	3601	--	--

Tabela A4. 15 - Resultados das medições efetuadas no ET15

Local	ET15	Rn Ar (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn Água (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
Piso -1	ORLMed1	146	28	100	0.419
Piso -1	ORLMed2	235	n/a	100	n/a
R/C	PiscMed1	203	0,1	100	n/a
R/C	PiscMed2	176	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med1	93	n/a	100	n/a
R/C	Duche <i>vichy</i> Med2	141	n/a	--	--
--	Furo	--	57	--	--

Tabela A4. 16 - Resultados das medições efetuadas no ET16

Local	ET16	Rn Ar (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn Água (Bq/L)	SPP2 (c.p.s.)	DRG (μSv/ano)
R/C	VapMed1	398	n/a	150/165	0.298
R/C	VapMed2	199	n/a	150/165	0.573
R/C	BanheirasMed1	172	n/a	135/165	n/a
R/C	BanheirasMed2	266	n/a	135/165	n/a
R/C	PiscMed1	370	n/a	135/165	n/a
R/C	PiscMed2	240	10	135/165	n/a
R/C	LamasMed1	467	n/a	200/215	n/a
R/C	LamasMed2	214	n/a	200/215	n/a
2º Piso	ORLMed1	375	56	115/135	0.285
2º Piso	ORLMed1	175	63	115/135	n/a
--	Furo 1	--	47	--	--
--	Furo 1	--	42	--	--

Tabela A4. 17 - Resultados das medições efetuadas na Habitação dos trabalhadores dos estabelecimentos termais

<b>Identificação da habitação</b>	<b>Piso</b>	<b>Local de medição</b>	<b>Rn Ar (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>SPP2 (c.p.s.)</b>	<b>DRG (μSv/ano)</b>
<b>HET1</b>	R/C	Sala	68	150	0.490
<b>HET3</b>	R/C	Sala	254	200	1.83
<b>HET4</b>	R/C	Sala	1322	150	9.52
<b>HET5</b>	R/C	Sala	312	100	2.25
<b>HET6</b>	R/C	Sala	1877	150	13.51
<b>HET7</b>	R/C	Sala	168	200	1.21
<b>HET8</b>	R/C	Sala	642	200	4.62
<b>HET9</b>	R/C	Sala	105	100	0.76
<b>HET10</b>	R/C	Sala	714	150	5.14
<b>HET11</b>	R/C	Sala	4051	150	29.17
<b>HET13</b>	R/C	Sala	257	100	1.85
<b>HET14</b>	R/C	Sala	605	200	4.36
<b>HET15</b>	R/C	Sala	111	100	0.78
<b>HET16</b>	R/C	Sala	508	150	3.66